

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA HIDRAULICA Y
MEDIO AMBIENTE



COMPORTAMIENTO DE NUTRIENTES EN
LA PLUMA DEL RIO EBRO

TESIS DOCTORAL

Inmaculada Romero Gil

Director

Dr. Julio González del Río Rams

Valencia-2003

TESIS DOCTORAL

**COMPORTAMIENTO DE NUTRIENTES EN LA
PLUMA DEL RIO EBRO**

Inmaculada Romero Gil

Director

Dr. Julio González del Río Rams

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Universidad Politécnica de Valencia

Valencia-España

Diciembre 2003

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que de distinta manera han hecho posible la realización de esta Tesis. Quiero expresar a todas ellas mi más sincero agradecimiento.

Por llevar a buen término la tarea que supone esta Memoria, a mi director Julio González del Río Rams, quien ha compartido y alentado este esfuerzo.

A la Unión Europea por financiar el proyecto europeo PIONEER, a partir del cual ha sido posible realizar esta Tesis Doctoral.

A todos los miembros de la Unidad Docente de Tecnologías del Medio Ambiente de la UPV y del Laboratorio de Ingeniería Marítima de la UPC, por la consideración que me han demostrado a lo largo de estos años. A todos los compañeros que hicieron posible los muestreos de campo y análisis de laboratorio les agradezco especialmente la dura tarea llevada a cabo. A Miguel, Silvia, Reme, Loli, Ángela, Ángel, Javi, Ricardo, Mari Carmen, Esther, Maria del Carmen, Javier, Vicent y Guillermo de la UPV y a Cesar, Enrique y Roberto de la UPC.

Muy especialmente le agradezco a Miguel el “tirar del carro” en los muestreos de campo y su ayuda incondicional, y a Silvia por la ardua tarea que compartimos en el Laboratorio durante meses interminables y por su apoyo en los peores momentos.

A Paco Aparisi por su ayuda con el tratamiento estadístico, y a Vicent e Ilona con la traducción de los resúmenes.

A Isabel, allá donde estés, para que veas que por fin terminé la Tesis.

Por último, y no por eso menos importante, quisiera agradecer a mi marido y a mi familia su constante apoyo y estímulo, y a mi hermano por su insistente pregunta “¿Pero cuándo la lees?”.

A mis hijos Nacho y Nuria

Resumen

El agua dulce/salobre de los ríos, cuando desemboca en el mar, fluye sobre la salina formando un frente denominado pluma. Su extensión y morfología depende fundamentalmente de las condiciones hidrodinámicas (caudal del río, marea, oleaje y corrientes determinadas en gran medida por los vientos locales).

Este estudio se ha llevado a cabo en la pluma del río Ebro. Se ha estudiado la distribución espacial de salinidad, nutrientes y clorofila *a* en la columna de agua. Para ello, en cada día de muestreo se tomaron muestras de agua en diversas estaciones de la pluma, con un dispositivo (denominado SWAS) que nos permite tener una alta precisión espacial en la capa más superficial de la columna de agua.

El perfil de salinidad en esta capa superficial muestra claramente el reducido espesor de la pluma fluvial en condiciones de calma, con el incremento brusco de la salinidad en los primeros centímetros de la columna de agua a medida que aumenta la profundidad. Se ha detectado la existencia de discontinuidades en esta pauta, en especial cuando los vientos locales introducen aguas marinas de salinidad más elevada en la capa superior.

Las concentraciones de nutrientes van disminuyendo gradualmente al aumentar la profundidad, la clorinidad y la influencia fluvial, aunque existen diversas desviaciones de esta pauta en dos zonas diferentes de la columna de agua (superficie y a mayor profundidad) que no se deben a variaciones en los aportes continentales, sino más bien a la actividad y movimiento de los organismos planctónicos en estas zonas.

En el proceso de mezcla se dan dos tipos de comportamientos diferentes. Los del nitrato y nitrito son generalmente conservativos, aunque se producen algunas pérdidas debido fundamentalmente a la absorción planctónica. Este consumo planctónico da lugar a que los comportamientos del amonio y el PSR muestren claras pérdidas, llegando este último a valores cercanos al agotamiento en todas las estaciones del año al ser el nutriente limitante en esta zona. El ácido ortosilícico se comporta generalmente como el nitrato, aunque cuando tienen lugar importantes floraciones de diatomeas éste es más similar al PSR.

El funcionamiento del sistema está determinado fundamentalmente por los aportes fluviales, sobre todo por la alta oligotrofia que muestra el medio marino receptor, con lo que una reducción del caudal del río y por tanto de los aportes de nutrientes conllevaría efectos significativos en este ecosistema litoral.

Abstract

The river freshwater, when it reaches the sea, flows above the saline water, thus a front which is usually denominated plume is formed. Its extension and morphology depends basically on the hydrodynamic conditions such are the river flow, tidal, waves and currents determined in great measure on the local winds.

This study has been carried out at the plume of the Ebro river. The spatial distribution of salinity, nutrients and chlorophyll *a* in the water column has been analyzed. The water samples were collected in the different points of the plume every day during the sampling period. A device (denominated SWAS) that allows a water sampling of the superficial layer with high vertical resolution has been used.

The salinity profile in the superficial layer shows the reduced thickness of the plume under the conditions of calm. An abrupt increase of salinity when the depth rises has been observed in the first centimeters of the water column. The existence of discontinuities has been detected in this pattern, especially when marine waters of higher salinity are introduced to the upper layer by the local winds.

The nutrients concentrations decrease gradually with increasing depth, chlorinity and fluvial influence. Nevertheless diverse deviations of this pattern exist in two different areas of the water column (surface and higher depth). These deviations are not caused by variations in the continental contributions, but rather by the activity and movement of the planktonic organisms in these areas.

Two different types of behavior are given in the mixture process. The nitrate and nitrite behavior are generally conservative, although some losses, mainly due to the absorption planktonic, take place. This consumption of planktonic communities causes that ammonium and PSR behaviors show losses, arriving PSR nearly to the exhaustion values in all the seasons since this nutrient is the limiting factor in this area. The orthosilicic acid generally behaves as the nitrate, although is more similar to the PSR when important diatom blooms take place.

The system is basically determined for the fluvial discharges, especially in the case of high oligotrophia of the receptor marine ecosystem. Thus, a reduction of river flow and therefore of the nutrients contributions could lead to significant effects in this coastal ecosystem.

Resum

L'aigua dolça/salobre dels rius, quan desemboca en el mar, fluïx sobre la salina formant un front denominat ploma. La seua extensió i morfologia depén fonamentalment de les condicions hidrodinàmiques (cabal del riu, marea, onatge i corrents determinades en gran manera pels vents locals).

Aquest estudi s'ha portat a terme en la ploma del riu Ebre. S'ha estudiat la distribució espacial de salinitat, nutrients i clorofil·la *a* a la columna d'aigua. Per a això, cada dia de mostreig es van prendre mostres d'aigua a diverses estacions de la ploma, amb un dispositiu (denominat SWAS) que ens permet tindre una alta precisió espacial en la capa més superficial de la columna d'aigua.

El perfil de salinitat en aquesta capa superficial mostra clarament el reduït espessor de la ploma fluvial en condicions de calma, amb l'augment brusc de la salinitat en els primers centímetres de la columna d'aigua a mesura que augmenta la profunditat. S'ha detectat l'existència de discontinuïtats en aquesta pauta, en especial quan els vents locals introdueixen aigües marines de salinitat més elevada en la capa superior.

Les concentracions de nutrients van disminuint gradualment al augmentar la profunditat, la clorinitat i la influència fluvial, encara que hi ha diverses desviacions d'aquesta pauta en dues zones diferents de la columna d'aigua (superfície i a major profunditat) que no es deuen a variacions en les aportacions continentals, sinó més aviat a l'activitat i moviment dels organismes planctònics en aquestes zones.

En el procés de mescla es donen dos tipus de comportaments diferents. Els del nitrat i nitrit són generalment conservatius, encara que es produeixen algunes pèrdues degut fonamentalment a l'absorció planctònica. Aquest consum planctònic dóna lloc a què els comportaments de l'amoni i el PSR mostren clares pèrdues, arribant aquest últim a valors pròxims a l'esgotament a totes les estacions de l'any al ser el nutrient limitant en aquesta zona. L'àcid ortosilícic es comporta generalment com el nitrat, encara que quan tenen lloc importants floracions de diatomees aquest és més semblant al PSR.

El funcionament del sistema està determinat fonamentalment per les aportacions fluvials, sobretot per l'alta oligotròfia que mostra el medi marí receptor. Per això, una reducció del cabal del riu i per tant de les aportacions de nutrients comportaria efectes significatius en aquest ecosistema litoral.

Índice General

1. Introducción	1
1.1. Ecosistemas litorales.....	1
1.2. Aportes continentales.....	8
1.3. Los nutrientes en los ecosistemas costeros.....	10
1.3.1. Nitrógeno.....	10
1.3.1.1. Transformación biológica de los compuestos de nitrógeno	12
1.3.1.2. Variación estacional de los compuestos de nitrógeno.....	21
1.3.2. Fósforo.....	22
1.3.2.1. Transformación de los compuestos de fósforo.....	24
1.3.2.2. Variación estacional de los compuestos de fósforo.....	28
1.3.3. Silicio.....	28
1.3.3.1. Transformación de los compuestos de sílice.....	29
1.3.3.2. Variación estacional de los compuestos de sílice.....	31
1.4. Los nutrientes como factores que limitan el crecimiento del fitoplancton...	32
1.4.1. Importancia de los nutrientes que limitan la producción primaria....	33
1.4.2. Variabilidad en el “nutriente limitante” en función de la zona de estudio.....	35
1.4.3. El mar Mediterráneo.....	37
1.5. Comportamiento de los nutrientes en las plumas fluviales.....	39
1.6. Objetivos.....	44
2. Zona de Estudio	45
2.1. Situación geográfica y características generales.....	45
2.1.1. El río Ebro.....	46
2.1.2. El mar Mediterráneo.....	48
3. Material y Métodos	51
3.1. Campañas de muestreo.....	51
3.2. Planteamiento general de los muestreos.....	51
3.2.1. Toma de muestras para calidad del agua.....	52
3.2.2. Datos hidrodinámicos.....	53
3.3. Situación de las estaciones y puntos de muestreo.....	55

3.3.1. Muestreo 1: 6 de abril de 1999.....	55
3.3.2. Muestreo 2: 10 de julio de 1999.....	56
3.3.3. Muestreo 3: 11 de julio de 1999.....	57
3.3.4. Muestreo 4: 8 de octubre de 1999.....	58
3.3.5. Muestreo 5: 9 de octubre de 1999.....	59
3.3.6. Muestreo 6: 10 de octubre de 1999.....	60
3.3.7. Muestreo 7: 1 de febrero de 2000.....	61
3.3.8. Muestreo 8: 4 de febrero de 2000.....	62
3.4. Parámetros físico-químicos.....	63
3.5. Cadena de custodia.....	64
3.6. Métodos analíticos.....	64
3.7. Tratamiento estadístico.....	69
3.8. Otras consideraciones.....	72
4. Resultados y Discusión	77
4.1. Muestreo 1 (6 abril 1999).....	77
4.1.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	77
4.1.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	82
4.1.3. Amonio.....	90
4.1.4. Nitrato.....	98
4.1.5. Nitrito.....	104
4.1.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	109
4.1.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	113
4.1.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	120
4.1.9. Fósforo Total (PT).....	126
4.1.10. Ácido Ortosilícico.....	130
4.1.11. Clorofila <i>a</i>	136
4.1.12. Relaciones entre nutrientes.....	143
4.1.13. Tratamiento estadístico.....	149
4.2. Muestreo 2 (10 julio 1999).....	152
4.2.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	152
4.2.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	155
4.2.3. Amonio.....	160
4.2.4. Nitrato.....	166
4.2.5. Nitrito.....	171
4.2.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	176
4.2.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	179

4.2.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	186
4.2.9. Fósforo Total (PT).....	191
4.2.10. Ácido Ortosilícico.....	196
4.2.11. Clorofila <i>a</i>	200
4.2.12. Relaciones entre nutrientes.....	205
4.2.13. Tratamiento estadístico.....	210
4.3. Muestreo 3 (11 julio 1999).....	213
4.3.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	213
4.3.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	216
4.3.3. Amonio.....	221
4.3.4. Nitrato.....	227
4.3.5. Nitrito.....	232
4.3.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	236
4.3.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	239
4.3.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	244
4.3.9. Fósforo Total (PT).....	248
4.3.10. Ácido Ortosilícico.....	252
4.3.11. Clorofila <i>a</i>	256
4.3.12. Relaciones entre nutrientes.....	260
4.3.13. Tratamiento estadístico.....	265
4.4. Muestreo 4 (8 octubre 1999).....	267
4.4.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	267
4.4.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	270
4.4.3. Amonio.....	274
4.4.4. Nitrato.....	280
4.4.5. Nitrito.....	284
4.4.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	289
4.4.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	292
4.4.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	296
4.4.9. Fósforo Total (PT).....	300
4.4.10. Ácido Ortosilícico.....	304
4.4.11. Clorofila <i>a</i>	308
4.4.12. Relaciones entre nutrientes.....	313
4.4.13. Tratamiento estadístico.....	317
4.5. Muestreo 5 (9 octubre 1999).....	319
4.5.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	319

4.5.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	321
4.5.3. Amonio.....	326
4.5.4. Nitrato.....	332
4.5.5. Nitrito.....	336
4.5.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	341
4.5.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	344
4.5.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	349
4.5.9. Fósforo Total (PT).....	353
4.5.10. Ácido Ortosilícico.....	358
4.5.11. Clorofila <i>a</i>	362
4.5.12. Relaciones entre nutrientes.....	367
4.5.13. Tratamiento estadístico.....	371
4.6. Muestreo 6 (10 octubre 1999).....	373
4.6.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	373
4.6.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	375
4.6.3. Amonio.....	381
4.6.4. Nitrato.....	386
4.6.5. Nitrito.....	391
4.6.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	396
4.6.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	399
4.6.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	405
4.6.9. Fósforo Total (PT).....	410
4.6.10. Ácido Ortosilícico.....	414
4.6.11. Clorofila <i>a</i>	419
4.6.12. Relaciones entre nutrientes.....	424
4.6.13. Tratamiento estadístico.....	429
4.7. Muestreo 7 (1 febrero 2000).....	431
4.7.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	431
4.7.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	432
4.7.3. Amonio.....	438
4.7.4. Nitrato.....	443
4.7.5. Nitrito.....	447
4.7.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	452
4.7.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	455
4.7.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	461
4.7.9. Fósforo Total (PT).....	466

4.7.10. Ácido Ortosilícico.....	470
4.7.11. Clorofila <i>a</i>	475
4.7.12. Relaciones entre nutrientes.....	480
4.7.13. Tratamiento estadístico.....	486
4.8. Muestreo 8 (4 febrero 2000).....	488
4.8.1. Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos.....	488
4.8.2. Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad.....	490
4.8.3. Amonio.....	495
4.8.4. Nitrato.....	500
4.8.5. Nitrito.....	505
4.8.6. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID).....	509
4.8.7. Fósforo Soluble Reactivo (PSR).....	513
4.8.8. Fósforo Disuelto Total (PDT).....	518
4.8.9. Fósforo Total (PT).....	522
4.8.10. Ácido Ortosilícico.....	526
4.8.11. Clorofila <i>a</i>	531
4.8.12. Relaciones entre nutrientes.....	535
4.8.13. Tratamiento estadístico.....	540
4.9. Comparación entre muestreos y campañas.....	543
5. Conclusiones y Líneas Futuras de Investigación	561
5.1. Conclusiones.....	561
5.2. Líneas Futuras de Investigación.....	565
REFERENCIAS	567
ANEXOS	A-1

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- Ecosistemas litorales

En gran parte de las costas de los océanos del mundo las aguas marinas están diluidas con las aguas dulces de los diferentes ríos que existen a lo largo de la costa y las filtraciones de aguas dulces subterráneas. En estas zonas la salinidad aumenta gradualmente con la distancia a la costa hasta alcanzar los valores de las aguas oceánicas. La zona de influencia de las aguas continentales dependerá de factores tales como el caudal de los aportes continentales, la morfología de la costa y las condiciones hidrodinámicas existentes.

El conjunto formado por dichas zonas de influencia constituye un continuo que va desde las zonas confinadas con una gran influencia fluvial y salinidades muy bajas, constituido por los estuarios en sentido estricto, hasta aquellas zonas en las que los aportes continentales son prácticamente nulos como sucede en el litoral de las zonas de afloramiento frente a desiertos como el Sahara, Atacama o Kalahari, donde los aportes continentales son esporádicos, dándose sólo durante los raros episodios de lluvias torrenciales. El hombre, como ha sucedido en muchos otros casos, ha intentado desarrollar un sistema de clasificación que permitiera subdividir en apartados este continuo, destacando los fiordos, las albuferas, los “embayments” y los sistemas de dominio fluvial o estuarios propiamente dichos.

Cuando los ríos o estuarios desembocan en el mar, el agua dulce flota y se dirige costa fuera sobre el agua más densa del mar, formándose las llamadas plumas (o penachos) fluviales. Su estructura está normalmente constituida por una

capa superficial de menor salinidad, aumentando ésta al hacerlo la profundidad, y dependiendo sobre todo de las características del sistema fluvial.

Existen varias definiciones de estuarios, pero la definición clásica es la propuesta por Pritchard (1967), en la que se define un estuario como “una masa de agua costera semi-cerrada que tiene una libre conexión con el mar abierto y en el cual el agua marina está en gran medida diluida con el agua dulce que proviene del drenaje continental”. Por ello, un estuario tiene características tanto de las aguas dulces como de las salinas, pero con características propias que lo diferencian de éstas.

Los estuarios se han clasificado de diferente maneras, basándose en la geomorfología, en la distribución de salinidad y densidad, y en el tipo de circulación. Ketchum (1983) realiza una clasificación basándose en la geomorfología y en la hidrología. Así nos encontramos:

- Estuarios bien mezclados: No existe diferencia entre la salinidad superficial y la del fondo. Se da en aquellos ríos en los que el caudal es débil respecto al flujo de las mareas. La estratificación se rompe debido a la turbulencia y se crea un gradiente de salinidades que abarca toda la columna de agua.

- Estuarios débilmente estratificados: Existe una pequeña variación de salinidad (unas pocas partes por mil) entre la capa superficial y las aguas profundas, con un intercambio entre el agua dulce y el agua salina a profundidades medias. Dependiendo de las condiciones de cada estuario existe un flujo neto de agua hacia el mar en las capas superficiales y tierra adentro en las capas profundas, que proporcionaría un transporte advectivo de agua dulce y salina. Se da en aquellos estuarios donde el caudal del río es algo mayor que el de las mareas.

- Estuarios fuertemente estratificados: Existe una gran variación entre la salinidad del agua superficial y la del fondo (bastantes partes por mil) y un fuerte gradiente de salinidad a profundidades intermedias. Se produce un flujo neto de las aguas superficiales hacia el mar y otro de las profundas hacia la cabeza del

estuario, llegando a transportar las aguas del río fuera del estuario. La interfase entre las aguas superficiales y las profundas se encuentra mezclada a lo largo de toda la longitud del estuario. Suele darse cuando la relación entre el caudal del río y el de la marea es relativamente grande. En este tipo de estuarios pueden encontrarse dos casos especiales: fiordos y de cuña salina.

➤ Fiordos: La columna de agua se encuentra dividida en tres capas: una salobre superficial, una intermedia en donde la salinidad se incrementa con la profundidad y una profunda en la cual la salinidad se mantiene constante. La mayor parte de la circulación se produce solamente en las capas superficial e intermedia.

➤ Cuña salina estancada. Se caracterizan por tener un alto grado de estratificación en la columna de agua, bajo régimen de mareas y elevadas descargas de los ríos (Pritchard, 1955). Definiciones más recientes (Geyer y Farmer, 1989) establecen que la cuña salina se da en los estuarios cuando la descarga del río es suficiente para mantener un fuerte gradiente entre el agua dulce y la salina, contrarrestando la tendencia de mezcla de la columna de agua por las mareas y la turbulencia inducida por los vientos. En este tipo de estuarios, el agua dulce que no está diluida fluye fuera del estuario por la capa superior, al mismo tiempo que por debajo (debido a la diferencia de salinidad y densidad) se introduce una capa de agua de mar no diluida. Así se forma la llamada cuña salina. Estas dos capas de agua no suelen mezclarse, pero se encuentra una pequeña circulación dentro de la cuña salina. Este tipo de estuario se encuentra en los ríos que forman deltas, como es el caso del río Ebro.

De la definición de estuario parece claro que el denominado estuario pertenece aún al cauce fluvial. En cambio, cuando el agua estuarina llega al mar, desemboca y se difunde en el agua salina (más densa). Debido a esta diferencia de densidad, se forma el frente denominado pluma (o penacho) fluvial, cuya estructura está normalmente constituida por una capa superficial de agua dulce o salobre que yace sobre las aguas salinas más densas. Si aceptamos la definición de Morris et al. (1995), una pluma estuarina sería simplemente la región de mar

litoral que está en gran medida influida por la descarga proveniente de tierra que emana de un estuario.

La extensión y morfología de las plumas fluviales dependen de la hidrodinámica, del caudal del río, de las condiciones de marea, del oleaje y de las corrientes, determinadas en gran medida por los vientos locales (Broche et al., 1998; Marsaleix et al., 1998).

La estructura vertical de la pluma estará condicionada por el oleaje. Esta estructura varía desde unas condiciones de calma, en las que la pluma yace sobre las aguas marinas con una mezcla muy reducida y una interfase marcada entre ambas, hasta las condiciones de mezcla total que se dan con los niveles más elevados de oleaje. En condiciones de calma, los vientos locales mueven la capa más superficial de la columna de agua. En el caso de las zonas de la pluma fluvial esta capa está constituida por aguas dulces/salobres. Dado que los vientos locales son muchas veces muy variables, tanto en lo que respecta a la magnitud como a su dirección, los cambios en el movimiento de la mancha de agua dulce pueden apreciarse *in situ* en tiempos relativamente cortos (inferiores lógicamente a un día). Broche et al. (1998) encontraron que la pluma formada por el río Ródano (noroeste del mar Mediterráneo) bajo ciertas condiciones ambientales puede llegar a alcanzar distancias del orden de 20 ó 30 km mar adentro y tener espesores de 1 ó 2 m. Marsaleix et al. (1998) han estudiado la formación de la pluma del Ródano y han encontrado que incluso la topografía de la zona puede alterar el movimiento de la pluma, llevando al agua dulce hacia el golfo de León y moviéndola hacia el este. Además el viento más característico de esta zona (el Mistral) que sopla procedente del valle fluvial hacia el mar, aleja la pluma de la costa. En un estudio realizado por Estournel et al. (1997) en la pluma del río Ródano, se pone de manifiesto que ésta está sujeta a dos fuerzas determinantes: el viento y la circulación costera. El viento determina la orientación de la pluma. En cambio, la corriente costera inducida por los vientos, y que favorece la surgencia o el hundimiento, suele ser la fuerza dominante en el área cerca de la desembocadura del río, gobernando por ejemplo la extensión de la pluma hacia el este o haciendo que penetre en el golfo de León.

Pero en algunas zonas puede resultar también importante las corrientes provocadas por la denominada fuerza de Coriolis, efecto de la rotación de la Tierra que actúa perpendicular a la trayectoria generando una desviación de ésta hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur. Así queda patente en el estudio realizado por Ruddick et al. (1995) en la pluma del río Rin, donde comprueban que los factores que determinan la gran extensión de la pluma (10-100 km dependiendo de las condiciones) son las mareas, vientos y la descarga del río, pero la dirección de la pluma de agua dulce está también influida por la fuerza de Coriolis, que la desplaza hacia la derecha.

La morfología de la pluma dependerá también de la salinidad de las aguas que salen del estuario, lo que estará determinado por las condiciones de mezcla de éste. Lógicamente cuanto menor salinidad tengan las aguas que salen del estuario, menor será su densidad y más abrupta la interfase de la pluma. En el caso que nos va a ocupar, las aguas que forman la pluma fluvial provienen de un estuario estratificado con cuña salina (río Ebro). Por lo tanto, éstas saldrán del estuario con una salinidad mucho más baja que la que se daría en un estuario de mezcla.

En las plumas, como normalmente las aguas continentales tiene contenidos mucho mayores en nutrientes, las variaciones de salinidad van acompañadas con variaciones de menor grado del contenido en nutrientes.

La variación de las condiciones ambientales provoca una marcada transición en las biocenosis. El tránsito del agua dulce a la salina implica una gran transformación en el medio (Torres y Del Río, 1995), por una parte la muerte de organismos que no están adaptados al cambio de salinidad y por otra las transformaciones de distintas especies químicas al variar las constantes de ionización de ácidos y bases y la solubilidad. La muerte y descomposición de los distintos organismos que no se pueden adaptar a estas salinidades da lugar a un consumo de oxígeno disuelto, que si no hay aportes puede provocar anoxia y producción de ácido sulfhídrico, especialmente en los sedimentos subyacentes. Por todo ello estos sistemas constituyen biotopos inestables, y sus biocenosis deben estar adaptadas a amplias fluctuaciones de diferentes parámetros.

Para poder comprender lo que ocurre en un ecosistema litoral cuando se produce una alteración de sus condiciones ambientales, hay que tener presente, aunque sea de manera simplificada, el tipo de cadena trófica del ecosistema. Como apunta Nixon (1981) ha habido un cambio a lo largo del siglo XX de los modelos conceptuales de los ciclos de nutrientes en los ecosistemas costeros marinos. De hecho las cadenas tróficas en el ecosistema pueden ser de dos tipos: aquellas que tienen una base béntica, es decir donde la mayor parte de los productores y/o especialmente de la biomasa es de este tipo (Figura 1.1.1), y los ecosistemas litorales de base planctónica en los que el bentos constituye un componente que no es cuantitativamente significativo (Figura 1.1.2).

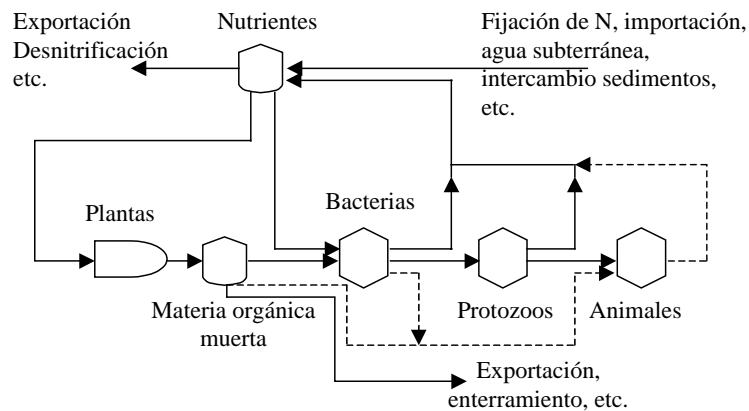


Figura 1.1.1. Cadena trófica de base béntica (Nixon, 1981).

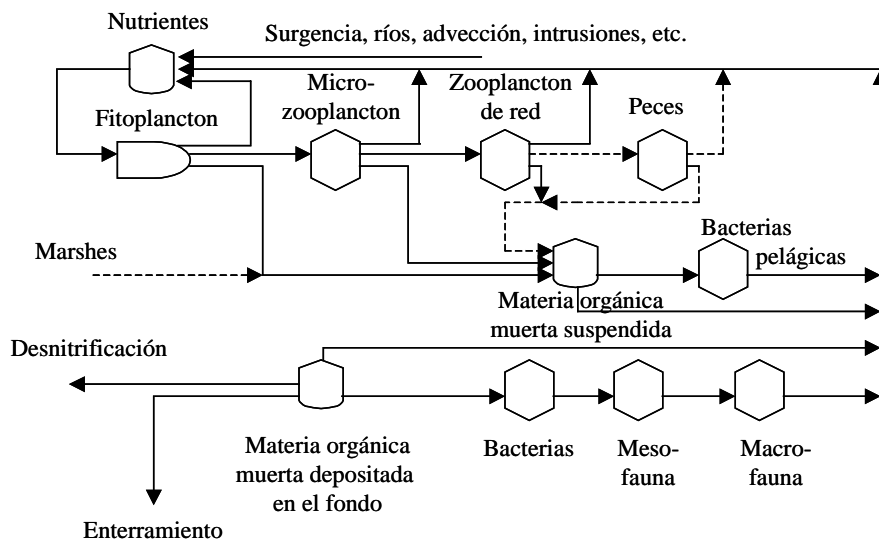


Figura 1.1.2. Cadena trófica de base planctónica (Nixon, 1981).

Las poblaciones bentónicas tanto fijas como móviles están bastante estructuradas, generalmente se extienden en dos dimensiones y están asociadas a un sustrato. Su tasa de renovación normalmente es menor que en el plancton. En

cambio, el mundo pelágico comprende un conjunto de poblaciones suspendidas en el mar. El plancton está constituido por pequeños organismos, de vida relativamente corta, y con una rápida tasa de renovación de las poblaciones. El necton está formado por los explotadores pelágicos más grandes, como los peces.

En los ecosistemas acuáticos se pueden distinguir 4 compartimentos fundamentales: productores primarios, productores secundarios, mineralizadores / detritus, y nutrientes (Vollenweider et al., 1996).

- Los productores primarios engloban todas las especies autótrofas que consiguen su biomasa a partir los nutrientes inorgánicos y utilizan la energía del sol o la que proviene de reacciones químicas inorgánicas para la síntesis de la materia orgánica. Pueden producir sustancias orgánicas a partir exclusivamente de productos inorgánicos, tales como CO_2 , H_2O , NH_3 , SO_4^{-2} , y PO_4^{-3} (Ochiai, 1985). Los organismos autótrofos son fundamentalmente las plantas y el fitoplancton. En ellos un pigmento, la clorofila, que se encuentra en todas las plantas foto-autótrofas, es el que capta la energía lumínica que sirve para la síntesis de la materia orgánica. Otros organismos pueden utilizar la energía proveniente de reacciones químicas para la síntesis de la materia orgánica. Aunque esta diferenciación entre organismos auto y heterotróficos parece clara, no siempre es así, ya que algunas de las algas foto-autótrofas son facultativas heterótrofas, pues pueden utilizar compuestos orgánicos disueltos en agua (por ejemplo azúcares), o ingerir partículas orgánicas incluyendo células vivas como hacen algunas especies de dinoflagelados, a pesar de que poseen pigmentos. Las algas (tanto micro como macroalgas) son los productores primarios fototróficos más importantes de los sistemas acuáticos marinos, aunque no hay que olvidar la importancia de las praderas de fanerógamas en algunos ecosistemas litorales.

- Los productores secundarios incluyen las especies heterótrofas que obtienen su energía y materiales a partir de la materia orgánica de otros organismos, dependen de los autótrofos, ya sea directa o indirectamente (Ochiai, 1985). Entre ellos hay tanto organismos planctónicos como bentónicos o demersales.

- Los mineralizadores incluyen las bacterias, pero también hongos y protozoos que ingieren y metabolizan detritus orgánico.

- Los nutrientes disponibles no sólo son los compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos en las aguas, sino también los almacenados en el sedimento, que bajo condiciones apropiadas pueden movilizarse.

1.2.- Aportes continentales

Mientras que en los ecosistemas oceánicos la llegada de nutrientes depende básicamente de la circulación vertical de las aguas, en los litorales los aportes de origen continental pueden ser en muchos casos determinantes del estado trófico del sistema. Antes de que la sociedad humana alcanzara su actual desarrollo, estos aportes continentales llegaban fundamentalmente a través de los cursos de agua y, en menor medida, de los afloramientos de aguas freáticas en el litoral. En la actualidad los aportes de nutrientes derivados de las actividades antrópicas han hecho que en muchos casos los vertidos directos de estas sustancias sean cuantitativamente más importantes que los aportes fluviales, al margen del aumento del contenido en nutrientes de los cursos de agua por las actividades humanas, o los aportes de nitrógeno por vía atmosférica (Pérès, 1980).

El aporte que puede provenir de los torrentes es en general poco importante, a no ser que existan en las proximidades de la costa depósitos de residuos sólidos que puedan llegar a ser arrastrados al mar cuando se produzcan grandes precipitaciones.

Uno de los aportes más importantes es el fluvial. Los ríos pueden considerarse como colectores de materias disueltas y en suspensión que han sido originadas en su cuenca. Algunos de estos materiales tienen un origen natural, como pueden ser algunas sales nutritivas (nitratos y fosfatos) y algunos metales pesados que son desprendidos de las rocas que existen en la cuenca hidrográfica. Sin embargo, en la actualidad gran parte de estos aportes derivan de las actividades humanas, bien sea directa (vertidos) o indirectamente (transformaciones de los ecosistemas de la cuenca) (Pérès, 1980).

Este aumento de los aportes de diversas sustancias ha afectado al litoral marino, y en algunos casos a todo el sistema de áreas marinas confinadas. Se ha encontrado, por ejemplo, que en la bahía de Brest (Francia) la carga de nitrato se ha doblado respecto a la de los años 70, lo que está relacionado con el incremento de actividades agrícolas (Le Pape et al., 1996). Del mismo modo, Bethoux et al. (1992), han visto que las concentraciones de fosfato y nitrato se han incrementado en las aguas profundas de la cuenca oeste del mar Mediterráneo debido a un incremento en la agricultura y en las actividades industriales y urbanas durante los años 60, hasta $8\text{-}10 \cdot 10^9$ mol/año de fosfato y $190\text{-}220 \cdot 10^9$ mol/año en nitrato.

Estos aportes continentales pueden ser determinantes, como ya hemos dicho, del estado trófico del sistema, especialmente en las zonas marinas más oligotróficas. Este es el caso del Mediterráneo, donde en el mar Levantino es la avenida del Nilo la que da lugar a la “floración de primavera” que se produce en otoño. En un estudio realizado por Moutin et al. (1998) en la desembocadura del río Ródano, se encontró que alrededor del 50% de la producción primaria en el golfo de León se podía atribuir a la entrada terrestre de nutrientes. Las entradas de nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y silicato disuelto provenientes del río Ródano que llegan al Mediterráneo se evaluaron durante un año en 115-127 kt N, 6.5-12.2 kt P y 135-139 kt de Si. La entrada de N fue principalmente en forma de nitrato (76%), seguida por nitrógeno orgánico disuelto (NOD) 8%, nitrógeno orgánico particulado (NOP) 9%, amonio 5% y nitrito 1%. En cuanto al fósforo, se encontró que aproximadamente el 50% se encontraba en forma particulada, la mayor parte del cual estaba ligado al calcio. El ortofosfato representaba alrededor del 31% del fosfato total.

Las actividades humanas no solo dan lugar a un aumento de aportes, sino que pueden tener el efecto contrario. Éste se debe fundamentalmente a las obras hidráulicas. En el mencionado Nilo, el cierre de la presa de Asuan, produjo un descenso brusco del aporte de nutrientes y la caída de la floración fitoplanctónica en la época de avenida, que originó el colapso de la pesquería de sardina (Stiling, 1999). Y en el golfo de California la práctica interrupción de los aportes del Colorado han dado lugar a cambios drásticos en el norte del golfo cuya biocenosis dependía antaño de estos aportes.

1.3.- Los nutrientes en los ecosistemas costeros

Como anteriormente hemos indicado, las distintas formas o compuestos de los diferentes elementos esenciales para la vida de los organismos (nutrientes) van pasando a través de la cadena trófica, entre los diferentes organismos que están presentes en un ecosistema. Estos “movimientos” pueden esquematizarse como ciclos. Aunque los datos existentes sobre los ciclos de las diferentes nutrientes no son cuantitativamente exactos, nos pueden ayudar a clarificar la transferencia de nitrógeno, fósforo o sílice desde una fuente a otra e ilustrar la importancia de la actividad de los distintos componentes.

1.3.1.- Nitrógeno

El nitrógeno posee diferentes estados de oxidación, que van desde +5 a -3, pudiéndose encontrar por tanto una gran variedad de compuestos en la naturaleza, como se detalla en la tabla 1.3.1.

Estado de oxidación	Compuestos
+5	NO_3^- , N_2O_5
+4	NO_2
+3	HONO , NO_2^- , N_2O_3
+2	HONNOH , HO_2N_2^- , $\text{N}_2\text{O}_2^{-2}$, NO
+1	N_2O
0	N_2
-1	H_2NOH , HN_3 , N_3^- , NH_2OH
-2	H_2NNH_2
-3	RNH_4 , NH_3 , NH_4^+

Tabla 1.3.1. Estados de oxidación y compuestos de nitrógeno.

En un ecosistema litoral, además del nitrógeno molecular disuelto, N_2 , nos podemos encontrar cantidades relevantes de diferentes compuestos de nitrógeno, tanto orgánicos como inorgánicos. Como indica Kennedy (1986), gran parte del nitrógeno presente en los ecosistemas se encuentra en forma orgánica dentro de los organismos vivos o en la materia orgánica del agua y los sedimentos, mientras que una proporción variable está en forma inorgánica, disponible para ser usado por los productores primarios.

Las principales formas de nitrógeno inorgánico son nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) que pueden encontrarse entre los siguientes límites, según indican Riley y Chester (1971), NO_3^- (1-500 $\mu\text{g/l}$ ó 0.016-8.06 $\mu\text{mol/l}$), NO_2^- (<0.1-50 $\mu\text{g/l}$ ó <0.002-1.09 $\mu\text{mol/l}$) y $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ (<1-50 $\mu\text{g/l}$ ó <0.056-2.78

$\mu\text{mol/l}$). El amonio, que proviene de las aguas residuales, de las deyecciones de los organismos y de la amonificación, es la forma más reducida del nitrógeno y puede ser usado directamente por el fitoplancton y otros microorganismos en procesos de asimilación sin necesidad de una reducción previa (Webb, 1981), por lo que su utilización es preferente frente a las formas oxidadas.

También se pueden encontrar pequeñas cantidades de óxido nitroso e hidroxilamina, ión hiponitrito. El óxido nitroso, N_2O (e.o. +1), es un compuesto intermedio en las reacciones de oxidación y reducción en el ciclo del nitrógeno.

El N_2 (e.o. 0) juega un importante papel en el ciclo del nitrógeno. Generalmente se considera una molécula muy estable. Por su naturaleza no polar, el N_2 tiene una baja solubilidad en agua, pero por su alta presión parcial en la atmósfera es la especie de nitrógeno que más prevalece.

El nitrógeno orgánico también está presente en estos ecosistemas, tanto en forma disuelta como particulada, asociado con los organismos del ecosistema, con la materia orgánica muerta o en disolución. En las células protoplasmáticas, el nitrógeno orgánico se encuentra en el estado de oxidación reducido (-3), lo mismo que en compuestos como urea, ácido úrico, aminoácidos y ácidos fúlvicos y húmicos que pueden existir en el ambiente. La urea $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$ es un importante transportador de nitrógeno entre los animales y las plantas. Los animales metabolizan proteínas y aminoácidos, y excretan grandes cantidades de urea. Las plantas absorben la urea y la transforman posteriormente en amonio, antes de utilizarla en la síntesis orgánica.

El nitrógeno puede actuar como una fuente de electrones (poder reductor) y también puede ser usado por los autótrofos proporcionando energía para el crecimiento, en reacciones que involucran la oxidación del oxígeno atmosférico. Las formas oxidadas pueden actuar como aceptores terminales de electrones para varios organismos heterótrofos. Como describe Webb (1981), se ha observado que todos los estados de oxidación intermedios del nitrógeno son biológicamente activos. De hecho, se ha visto que el dióxido de nitrógeno (e.o. +4), que es el contaminante atmosférico nitrogenado más importante, es metabolizado por

plantas terrestres. El nitrógeno del NO_2 puede llegar a reducirse y aparecer en forma de aminoácidos.

1.3.1.1.- Transformación biológica de los compuestos de nitrógeno

El ciclo del nitrógeno se diferencia de los ciclos de fósforo y sílice en varios aspectos:

- Es más complejo por el gran número de formas de nitrógeno que existen en la naturaleza y por los distintos estados de oxidación en los que, como ya hemos señalado, puede aparecer (-3 a $+5$).

- Las formas termodinámicamente estables del nitrógeno son N_2 (e.o. 0) y NO_3^- (e.o. $+5$), pero en la materia orgánica el nitrógeno aparece en el estado de oxidación -3 . Esto implica que para que el nitrógeno pueda ser asimilado debe producirse un cambio de estado de oxidación. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el fósforo y el silicio, pues las formas estables de ambos pueden ser asimiladas sin necesidad de ningún cambio en sus estados de oxidación.

- Las sales y compuestos de nitrógeno son solubles y poco adsorbibles, mientras que con los compuestos de fósforo y silicio sucede lo contrario. Esto da lugar por tanto a que el sumidero principal de fósforo y silicio sea sedimentario y, en cambio, el del nitrógeno sea atmosférico.

Al ser en la mayor parte de los ecosistemas marinos un nutriente limitante, las concentraciones de las diferentes especies de nitrógeno en el sistema están controladas por factores biológicos. De manera esquemática, lo que sucede es que el zooplancton ingiere compuestos de nitrógeno con el fitoplancton y lo excreta en forma soluble como amonio o nitrógeno orgánico (urea, aminoácidos, óxido de trimetilamina y péptidos). El fitoplancton y los microorganismos toman este nitrógeno y excretan nitrógeno inorgánico y orgánico, en forma soluble y particulada. También existe un intercambio con los sedimentos a través del alimento y excreción de microorganismos bénticos e invertebrados y los movimientos del agua (Meadows y Campbell, 1978). Los procesos regenerativos, en los que los compuestos de nitrógeno orgánico son convertidos en nitrógeno inorgánico y finalmente en nitrato, están normalmente dominados por las bacterias. El amonio, nitrato y nitrito son utilizados por el fitoplancton, pero las

bacterias normalmente sólo los utilizan cuando no existe nitrógeno orgánico disponible (Riley y Chester, 1971).

Como indica Smayda (1983) las formas preferenciales del fitoplancton son, por este orden: amonio, urea, nitrato, nitrito y otros compuestos orgánicos diferentes a la urea. El amonio y la urea son preferenciales porque no necesitan reducirse previamente, mientras que las formas oxidadas (nitrato y nitrito) deben ser reducidas previamente mediante la acción de las enzimas nitrato-reductasa (reduce el nitrato a nitrito) y nitrito-reductasa (reduce el nitrito a amonio), sin olvidar la posibilidad de que además el amonio puede llegar a absorberse en tromba pero no el nitrato. Esta preferencia en la asimilación por parte del fitoplancton queda patente en el trabajo de McCarthy et al. (1977), donde se determina el porcentaje de utilización de las poblaciones fitoplanctónicas en la bahía de Chesapeake (USA), con relación a la disponibilidad de las diferentes formas de nitrógeno. En este estudio el nitrato representa el 68% del nitrógeno disponible, amonio el 15%, urea el 7% y nitrito el 10%, pero sin embargo, el porcentaje medio de contribución de cada uno de ellos al nitrógeno total utilizado representa el 22%, 51%, 20% y 7% respectivamente.

Incluso, como se describe en Berman et al. (1999) y en Mulholland et al. (1998), una gran variedad de fitoplancton marino y estuarino y bacterias pueden utilizar nitrógeno orgánico disuelto como una fuente de nitrógeno. Ambos estudios muestran que el fitoplancton o las bacterias pueden asimilar aminoácidos libres disueltos y otros compuestos específicos de nitrógeno orgánico como aminas primarias y nucleótidos. De hecho, la existencia de enzimas superficiales celulares similares a las fosfatasa alcalinas (que luego veremos que son las responsables de la regeneración de fósforo orgánico) en una gran variedad de algas y bacterias, deja patente la posibilidad de la desaminación u oxidación extracelular de aminoácidos, con la consiguiente liberación de concentraciones equimoleculares de amonio, peróxido de hidrógeno y ácido orgánico desaminado. Con este proceso, el amonio liberado estará disponible para la asimilación por microorganismos. Del mismo modo, los resultados presentados por Berman et al. (1999) indican también la ruptura de otros compuestos de nitrógeno orgánico disuelto con la consiguiente eliminación de compuestos, como amonio o urea,

fácilmente disponibles para la nutrición del fitoplancton y bacterias. Es de destacar la importancia de este sistema y su ahorro energético frente a la absorción directa de estos compuestos ya que esto implicaría necesariamente la existencia de un sistema de transporte a través de la membrana para cada uno de ellos.

La utilización del nitrógeno por agentes biológicos puede dividirse en procesos asimiladores (o asimilativos) (asimilación de nitrato, fijación de nitrógeno y asimilación de amonio) y no asimiladores (nitrificación, desnitrificación y amonificación). Las reacciones no asimiladoras están restringidas a diversas especies de microorganismos que están adaptadas a utilizar esos substratos nitrogenados. La asimilación de nitrógeno, por otra parte, es una propiedad indispensable de todos los organismos vivos. Sin embargo, las formas particulares de compuestos de nitrógeno que pueden ser usados como substrato base, difieren de un organismo a otro (Kennedy, 1986). Todos estos procesos son reacciones de oxidación-reducción y están muy influenciados por las condiciones físico-químicas existentes en el medio (Herbert, 1999).

En la figura 1.3.1 podemos observar los distintos compuestos de nitrógeno y las reacciones que pueden tener lugar.

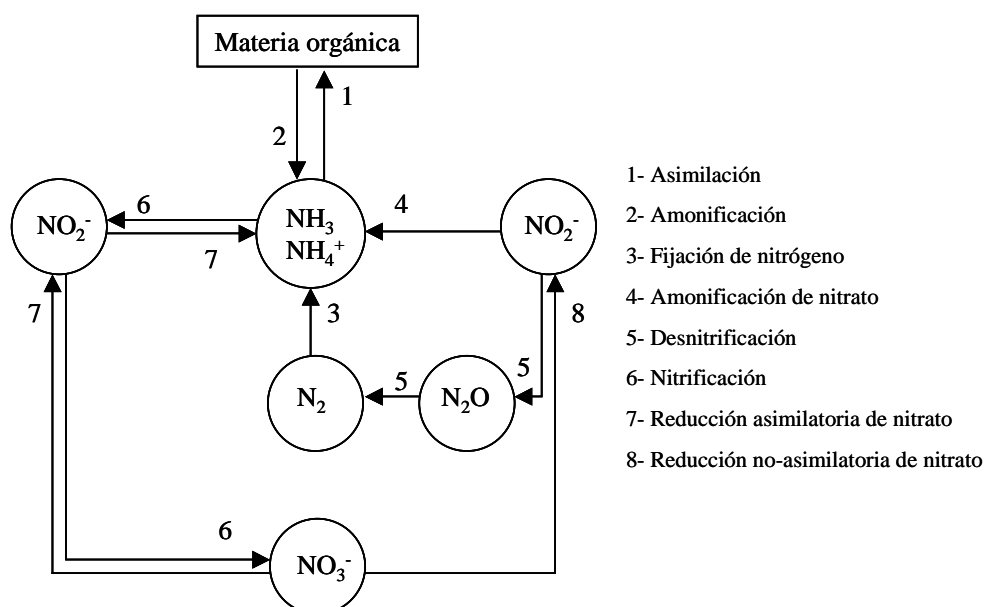
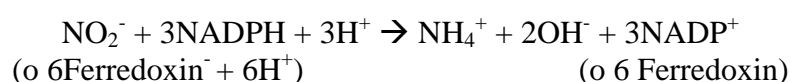


Figura 1.3.1. Compuestos de nitrógeno y reacciones que tienen lugar entre ellos.

1) Procesos asimilatorios

En el proceso de asimilación de nitrógeno por plantas y microorganismos, el amonio es tomado del medio y en el interior de los organismos es utilizado directamente mediante los sistemas enzimáticos para la biosíntesis de los compuestos de nitrógeno que precisan. En otros casos, el ion nitrato es absorbido desde el medio y reducido mediante sistemas enzimáticos para pasar posteriormente a la síntesis de aminoácidos, o incluso otros compuestos orgánicos nitrogenados son absorbidos y usados directamente, como sucede normalmente en los animales.

- *Reducción asimilatoria o asimilación de nitrato (proceso 7).* Es la reducción de las especies oxidadas de nitrógeno a amonio, que es incorporado a aminoácidos, proteínas y polinucleótidos. En este proceso están involucradas dos enzimas, que ayudan a la reducción de nitrato a amonio. Son la nitrato y nitrito reductasa. El proceso se produce en dos etapas:

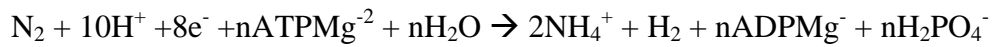


Este proceso ocurre en organismos heterótrofos al igual que en fotoautótrofos (Webb, 1981). Los compuestos de partida pueden ser también compuestos intermedios entre nitrato y amonio. Bajo algunas condiciones, tales como poca luz o un aumento en la concentración de amonio cuando el fitoplancton está utilizando nitrato, compuestos intermedios como el nitrito pueden ser exudados al exterior por el organismo.

- *Fijación de nitrógeno (proceso 3).* La fijación biológica de nitrógeno es la reducción de N_2 atmosférico a NH_3 , NH_4^+ , o cualquier compuesto orgánico nitrogenado. Este proceso es inhibido por la presencia de oxígeno. Como el enlace $\text{N}=\text{N}$ es bastante estable, la reducción biológica de N_2 a amonio es un proceso que necesita energía.

Es una reacción catalizada por enzimas. Los organismos diazotróficos (fijadores de nitrógeno) utilizan la enzima nitrogenasa, que es una metaloproteína

que contiene hierro y molibdeno junto con azufre inorgánico como parte de su estructura. Esta enzima es oxígeno sensitiva y consume grandes cantidades de ATPMg^{-2} .



En sistemas acuáticos de agua dulce las cianobacterias son consideradas como las responsables del 78% de la fijación total que tiene lugar. Como indica Jaffe (1994) las cianobacterias son una gran fuente de nitrógeno fijado, debido a que están muy extendidas. La energía necesaria para llevar a cabo esta reacción la obtienen de la fotosíntesis. En sistemas marinos, se conoce poco de la capacidad de fijación del nitrógeno. La contribución de este proceso al ciclo global del nitrógeno no parece estar muy clara. De hecho, parece que la fijación de nitrógeno en ambientes oceánicos contribuye como mucho en un 1% de la entrada total de nitrógeno al sistema (Howarth et al., 1988b), pero sin embargo se han encontrado lugares como la región Asko del mar Báltico donde la fijación planctónica contribuye en más del 20% de la entrada de nitrógeno, o en el estuario de Peel-Harvey donde parece contribuir con un 17%. Como se describe en Webb (1981), en ambientes estuarinos este proceso podría ser importante en interfaces entre el agua y plantas o agua y sedimentos, incluyendo zonas de salpicaduras adyacentes también como en sedimentos. En general se puede decir que la importancia de la fijación de nitrógeno en ecosistemas acuáticos varía marcadamente, con una fijación planctónica de nitrógeno que puede variar desde el 0 al 82% de la entrada total de nitrógeno al sistema, dependiendo de la zona de estudio (Howarth et al., 1988a).

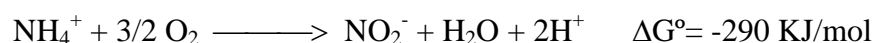
La fijación del nitrógeno se ve afectada por la disponibilidad de carbono, la temperatura, la luz, el pH, el oxígeno, el nitrógeno orgánico, la salinidad y la disponibilidad de metales traza (Herbert, 1999).

- *Asimilación de amonio (proceso 1)*. El amonio puede ser también absorbido directamente del medio y pasar a formar parte del organismo, a través de la síntesis de aminoácidos, sin el gasto energético que implica la reducción previa que se da en el caso del nitrato. El NH_3 o el NH_4^+ , es tomado y asimilado por un organismo para entrar a formar parte de su biomasa en la forma de

compuestos orgánicos nitrogenados. El amonio se transforma en glutamato mediante una reacción que cataliza la glutamato-deshidrogenasa (GDH).

2) Procesos no asimilatorios

- *Nitrificación (proceso 6)*. La oxidación del amonio a nitrito y nitrato se producirá espontáneamente en la naturaleza por razones termodinámicas, pero la velocidad de las reacciones químicas puras son muy lentas (con diferencia de varios órdenes de magnitud) en comparación con las catalizadas por enzimas. Esta es la causa de que la nitrificación biológica, y la consecuente eliminación de amonio, sea un proceso tan importante en el ciclo del nitrógeno. En este proceso el nitrógeno amoniacal es oxidado por bacterias a NO_2^- y posteriormente a NO_3^- . Estas bacterias utilizan estas reacciones como fuente de energía, siendo por tanto quimioautótrofas. Se lleva a cabo en dos pasos, ambos exoenergéticos:



Algunos organismos utilizan la nitrificación como fuente de energía. Utilizan el CO_2 como fuente de carbono, y obtienen su energía de la oxidación del NH_4^+ (Jaffe, 1994). En la tabla 1.3.2 se muestran los diversos organismos responsables de este proceso.

Género	Rango ambiental	Hábitat
Oxidadoras de amonio		
<i>Nitrosomonas</i>	5-30°C, pH= 5.8-8.5	Suelos, marinas, agua dulce
<i>Nitrospira</i>	25-30°C, pH= 7.5-8	Suelo, no crecen en agua de mar
<i>Nitrosococcus</i>	2-30°C, pH= 6-8	Suelos, marinas, agua dulce
<i>Nitrosolobus</i>	13-30°C, pH= 6.0-8.2	Suelos
Oxidadoras de nitritos		
<i>Nitrobacter</i>	5-40°C, pH= 5.7-10.2	Suelos, marinas, agua dulce
<i>Nitrospira</i>	20-30°C, pH= 7.0-8.0	Marina
<i>Nitrococcus</i>	20-30°C, pH= 7.0-8.0	Marina, sólo crecen entre 10 y 100% de agua de mar

Tabla 1.3.2. Organismos responsables de la nitrificación.

En ecosistemas litorales poco profundos, el primer paso lo realiza normalmente el género *Nitrosomonas* spp, y el segundo el *Nitrobacter* spp, ambos organismos autótrofos (Herbert, 1999).

Tanto la temperatura como la presencia de amonio y oxígeno disuelto en el medio tienen un efecto positivo sobre el proceso, pero además otros factores físico-químicos y biológicos son importantes en la regulación de la actividad nitrificante en los sedimentos costeros marinos. Estos son el pH, CO₂ disuelto, salinidad, presencia de compuestos inhibidores, luz, actividad de la macrofauna y presencia de raíces de macrófitos (Herbert, 1999).

El nitrato producido por las capas óxicas de los sedimentos puede difundirse a la columna de agua superior como una fuente de nitrógeno “regenerado” o entrar en el sedimento anóxico donde puede ser reducido a óxido nitroso y/o dinitrógeno por desnitrificación o a amonio por bacterias amonificantes de nitrato (Herbert, 1999).

- *Reducción no-asimilatoria de nitrato (proceso 8). Desnitrificación (proceso 5) y amonificación de nitrato (proceso 4).* Son procesos anaeróbicos de reducción mediante los cuales las bacterias heterótrofas usan nitrato como un aceptor terminal de electrones en la respiración y lo reducen a sus productos gaseosos (desnitrificación) o a amonio (amonificación de nitrato) (Herbert, 1999; Webb, 1981).

La desnitrificación es un proceso clave en el ciclo del nitrógeno, puesto que es una salida del sistema y hace disminuir la cantidad disponible para los productores primarios, ya que los productos finales gaseosos (N₂O o N₂) no son utilizables y además se difunden fácilmente a la atmósfera. Por ello, proporciona un mecanismo en sistemas costeros marinos que reciben grandes cantidades de nitrógeno desde fuentes antropogénicas, para liberar el exceso de nitrógeno y así ayudar al control de la eutrofización de esos ambientes (Herbert, 1999). La mayor fuente de nitrato para la desnitrificación en muchos ríos, lagos y sedimentos costeros marinos bajo una columna de agua aeróbica, es el nitrato producido en los sedimentos vía nitrificación, y no el nitrato que se difunde en los sedimentos desde la columna de agua adyacente (Seitzinger, 1988). Así, el acoplamiento de la nitrificación (proceso aeróbico) con la desnitrificación (proceso anaeróbico) puede conducir a una pérdida de nitrógeno a la atmósfera (Herbert, 1999), siempre y cuando el amonio se transforme en nitrato pues si no se producirá la

desnitrificación. Se ha llegado a estimar que esta pérdida puede llegar a ser hasta del 50% del total de las entradas de nitrógeno (Seitzinger, 1988).

La desnitrificación puede involucrar tanto la producción como el consumo de N_2O , en sistemas de agua dulce y costeros marinos. Como muestra Seitzinger (1988), la desnitrificación parece ser la mayor fuente de N_2O .

La desnitrificación la llevan a cabo diferentes grupos taxonómicos de bacterias heterótrofas. En presencia de oxígeno molecular esas bacterias crecen aeróbicamente, pero bajo condiciones bajas de oxígeno son capaces de mantener la actividad respiratoria usando nitrato como aceptor terminal de electrones. Se requiere una concentración máxima de oxígeno de 0.2 mg/l en sistemas de agua tanto dulce como salina para que tenga lugar la desnitrificación en el agua o en el sedimento (Seitzinger, 1988).

La desnitrificación está gobernada principalmente por la temperatura, el aporte de nitrato, la disponibilidad de materia orgánica y la concentración de oxígeno (Seitzinger, 1988). La presencia de macrófitos e infauna pueden influir en estos procesos (Herbert, 1999).

La desnitrificación es el proceso dominante de reducción del nitrato en muchos sedimentos marinos poco profundos. Sin embargo, el camino alternativo, la amonificación del nitrato, también puede ser importante bajo ciertas condiciones. Algunos estudios, como se muestra en Herbert (1999), están demostrando que las bacterias heterotróficas que son capaces de llevar a cabo este proceso, están muy difundidas en los sedimentos marinos. En contraste a la desnitrificación donde el nitrógeno se pierde del sistema, la amonificación de nitrato conlleva la conservación de nitrógeno en una forma disponible para los organismos.

Además del N_2 y del NH_3 , el óxido nitroso también puede producirse como producto final de la reducción no-asimilatoria de nitrato, tanto en la desnitrificación como en la amonificación de nitrato. Pero además, como vimos anteriormente, el óxido nitroso también puede ser un producto secundario en la

nitrificación (Herbert, 1999). De hecho, los ambientes estuarinos y costeros marinos han sido identificados como fuentes de óxido nitroso atmosférico. La producción de óxido nitroso está controlada por varios factores, de los que el oxígeno parece ser el más importante.

- *Amonificación (proceso 2)*. Toda la materia viva contiene macromoléculas de nitrógeno, tales como ácidos nucleicos, proteínas y poliamino-azúcares y compuestos de bajo peso molecular (aminoácidos, polipéptidos cortos, aminas, urea,...), que estarán disponibles para los descomponedores cuando se produzca la muerte celular. La liberación de amonio a partir de esa materia nitrogenada se llama amonificación. Es una reacción de mineralización.

Dependiendo de la complejidad estructural de la materia orgánica, la amonificación podrá ser una simple reacción de desaminación o una serie compleja de pasos metabólicos que implican a numerosas enzimas hidrolíticas, durante los cuales los polímeros que contienen nitrógeno acaban fraccionándose totalmente dando lugar a sus unidades monoméricas solubles (Herbert, 1999).

Las bacterias heterótrofas son las principales responsables de este proceso. Utilizan compuestos orgánicos de plantas muertas o materia animal como fuente de carbono, y liberan NH_3 y NH_4^+ . La amonificación es simplemente la liberación de amonio durante el catabolismo de materiales biológicos que contienen nitrógeno.

La amonificación juega un importante papel en el reciclaje del nitrógeno en ambientes litorales marinos. En ecosistemas de agua poco profundos (<50 m) el reciclaje béntico puede aportar entre el 20-80% de los requerimientos de nitrógeno del fitoplancton. Sin embargo, no todo el amonio producido durante la desaminación de nitrógeno orgánico en sedimentos estará disponible para los productores primarios, sino que una proporción, que variará dependiendo de las características físico-químicas del sedimento, se oxidará a nitrato en la zona óxica superficial (nitrificación) (Herbert, 1999).

1.3.1.2.- Variación estacional de los compuestos de nitrógeno

Como consecuencia de las variaciones estacionales del clima y de la consiguiente repercusión en la circulación de las aguas y la actividad biológica, las concentraciones de los diferentes compuestos de nitrógeno varían estacionalmente en la capa superficial del mar.

Normalmente, en primavera la permanencia de contenidos relativamente elevados de nutrientes en la columna de agua, al estar ésta sin estratificar, y el aumento de la intensidad lumínica tras la limitación invernal, dan lugar a la mayor de las proliferaciones estacionales del plancton. El crecimiento del plancton, y su consiguiente absorción de nutrientes, da lugar a una disminución creciente del nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en la capa eufótica, que en los mares con limitación en nitrógeno puede llegar al agotamiento a principios del verano cuando se inicia la estratificación térmica. Durante la mayor parte de la primavera el consumo del fitoplancton por peces y zooplancton permite su retorno a la columna de agua con sus excreciones, tanto en forma asimilable proveniente de la orina como amonio y urea, o en gránulos fecales que serán descompuestos bacterianamente. Al mismo tiempo la mezcla vertical contribuye a la renovación por conducir agua rica en nitrato desde la parte inferior de la zona eufótica (Riley y Chester, 1971).

Sin embargo, cerca del verano, el calentamiento solar causa el desarrollo de una termoclina que inhibe la mezcla vertical (Riley y Chester, 1971). Como consecuencia, el crecimiento del fitoplancton elimina a gran velocidad el nitrógeno inorgánico disponible por encima de la termoclina ya que no recibe aportes externos como sucede en primavera. En esta época, la forma predominante es normalmente el amonio, que es excretado por el zooplancton después de alimentarse del fitoplancton. Pero este amonio es rápidamente reasimilado. Como indican Riley y Chester (1971), la excreción de N por el zooplancton parece ser máxima cuando el fitoplancton es escaso, y viceversa. Al final del verano suele producirse un bloom algal que suele interrumpir la constante regeneración de nitrato (Riley y Chester, 1971) al romper la estratificación las primeras tormentas, tormentas que también pueden romper la termoclina a lo largo del verano.

Durante el principio de esa regeneración la concentración de nutrientes se incrementa progresivamente a un máximo durante el otoño, cayendo luego a valores más bajos (Riley y Chester, 1971).

La nitrificación normalmente se completa en invierno, cuando la superficie se enfría y las tormentas rompen la termoclina, permitiendo al nitrato volver a distribuirse homogéneamente bajo la columna de agua (Riley y Chester, 1971).

1.3.2.- Fósforo

El fósforo (P) es un componente esencial de la mayor parte de los organismos. Forma parte del ADN, ARN, fosfolípidos, ATP y c-AMP. Los ácidos nucleicos son polímeros basados en ésteres de fosfato. Los fosfolípidos forman membranas de capas dobles de lípidos. El ATP es usado en síntesis de grasas, carbohidratos y proteínas. La molécula cíclica c-AMP actúa fuera de la célula como mensajero en conjunción con hormonas.

Los distintos compuestos de fósforo que podemos encontrar en un ecosistema acuático se agrupan en formas inorgánicas y orgánicas, disueltas o particuladas.

- Formas inorgánicas

Los equilibrios de disociación entre las distintas formas posibles del ácido fosfórico dependen básicamente del pH del medio, como se observa en la figura 1.3.2. El pH del agua de mar suele ser de 8, por lo que la forma predominante es HPO_4^{-2} . La presencia de cationes como Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+} , que forman pares de iones con las especies de PO_4^{-3} , puede alterar de manera importante la disociación del ácido fosfórico. Además el PO_4^{-3} también puede encontrarse en forma de polifosfatos, que constituyen una pequeña porción del fósforo total presente en aguas naturales. Por todo ello, es el PO_4^{-3} la forma predominante en los ecosistemas litorales.

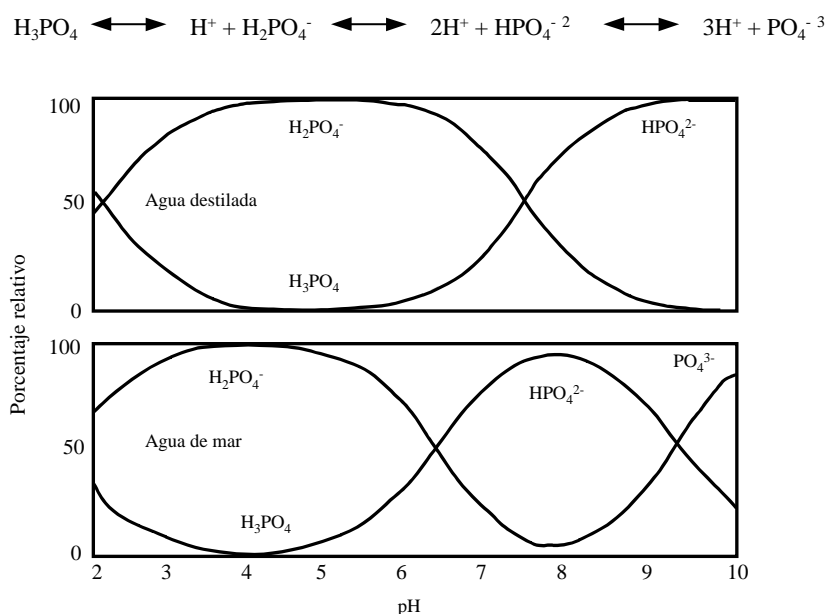


Figura 1.3.2. Porcentaje relativo de las diferentes especies del ácido fosfórico en función del pH del medio.

El fósforo inorgánico puede llegar a encontrarse en forma particulada, en una gran cantidad de fases minerales. Hay unos 300 minerales naturales en los que el PO_4^{3-} es un componente estructural necesario, pero además forma parte de otras estructuras cristalinas en las que no es el componente principal. Por todo ello, la cantidad de fósforo que se puede encontrar en los sedimentos es muy importante (Jahnke, 1994).

Según se muestra en Riley y Chester (1971), incluso se puede llegar a encontrar flóculos de fosfato férrico en el agua de mar, debido a que su producto de solubilidad es tal que este compuesto puede llegar a encontrarse supersaturado en el agua marina. Además, el fosfato también puede encontrarse adsorbido sobre la materia particulada.

- Formas orgánicas

El fósforo orgánico particulado está asociado a organismos vivos o muertos, como se muestra en Riley y Chester (1971), y puede por lo tanto encontrarse un amplio rango de compuestos de fósforo orgánico involucrados en la bioquímica de los organismos marinos y en sus productos de degradación.

El fósforo orgánico también se encuentra en forma disuelta, sobre todo en aguas superficiales eufóticas, donde incluso puede exceder las concentraciones inorgánicas de fosfato. La fracción lábil del fósforo orgánico disuelto es la fuente de fosfato marino que más rápido se recicla, proporcionando fosfato utilizable al fitoplancton entre entradas episódicas de otras fuentes (Jahnke, 1994).

En cuanto a los aportes de fósforo a los ecosistemas litorales, Migon y Sandroni (1999) estudiaron las concentraciones que se encontraban en la zona costera de Liguria (Francia), encontrando que la entrada de fósforo atmosférico era altamente variable, desde 0.3 a 22.8 $\mu\text{mol P/m}^2$. Sus conclusiones fueron que la arena proveniente del Sahara era una importante fuente de fósforo atmosférico, principalmente insoluble. Al contrario, las emisiones antropogénicas eran fuentes de fósforo soluble. De hecho se encontró que las emisiones antropogénicas eran las responsables de las cantidades relativamente altas de fósforo biodisponible. La mayor fuente de polifosfatos en los ecosistemas costeros y estuarinos, son resultado de la utilización de detergentes (Riley y Chester, 1971). Además de estas fuentes de fósforo, como se describe en Froelich (1988), entre el 5-10% del fósforo erosionado de las rocas continentales es transportado a los océanos en forma disuelta, y el resto es presumiblemente transportado como forma inerte.

1.3.2.1.- Transformación de los compuestos de fósforo

El fósforo es un componente esencial para el desarrollo de los organismos. Su ciclo global se diferencia del de otros elementos como el nitrógeno en varios aspectos. En primer lugar no hay cantidades importantes de compuestos de fósforo gaseoso en la atmósfera que puedan entrar a formar parte de su ciclo. En segundo lugar los cambios de estado de oxidación no tienen importancia en la reactividad y distribución del fósforo en los ambientes naturales, incluyendo los organismos. La principal reserva de fósforo es de tipo sedimentario, y no atmosférico como el nitrógeno, pues procede de la disgregación y lavado de las rocas y minerales que lo contienen. Además, y como luego veremos, parte del fósforo que interviene en el ciclo queda inmovilizado en los sedimentos al precipitar en forma de fosfato cálcico cuando el pH es elevado, o férrico cuando se oxida el ion ferroso. Si estos sedimentos vuelven a estar en condiciones de ambiente reductor puede producirse la redisolución del fósforo. De todos modos,

una fracción importante de los fosfatos precipitados queda inmovilizada de forma irreversible y casi permanente en los sedimentos.

En el agua de mar, una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos de fósforo pueden ser asimilados por los organismos vivos, siendo el ortofosfato la forma preferida (Migon y Sandroni, 1999). El fósforo aparece casi exclusivamente en forma pentavalente, en estado de oxidación +5, encontrándose como PO_4^{-3} . Prácticamente todas las formas disueltas y particuladas de fósforo son formas combinadas, complejadas, o modificadas ligeramente de este ion (ortofosfato, pirofosfato, largas cadenas de polifosfatos, ésteres orgánicos fosfatos, fosfodiésteres y fosfonatos orgánicos). Por todo ello, en general el ciclo biogeoquímico del fósforo es similar al del fosfato (Correll, 1998).

En la figura 1.3.3 podemos ver un esquema del ciclo del fósforo en ecosistemas acuáticos.

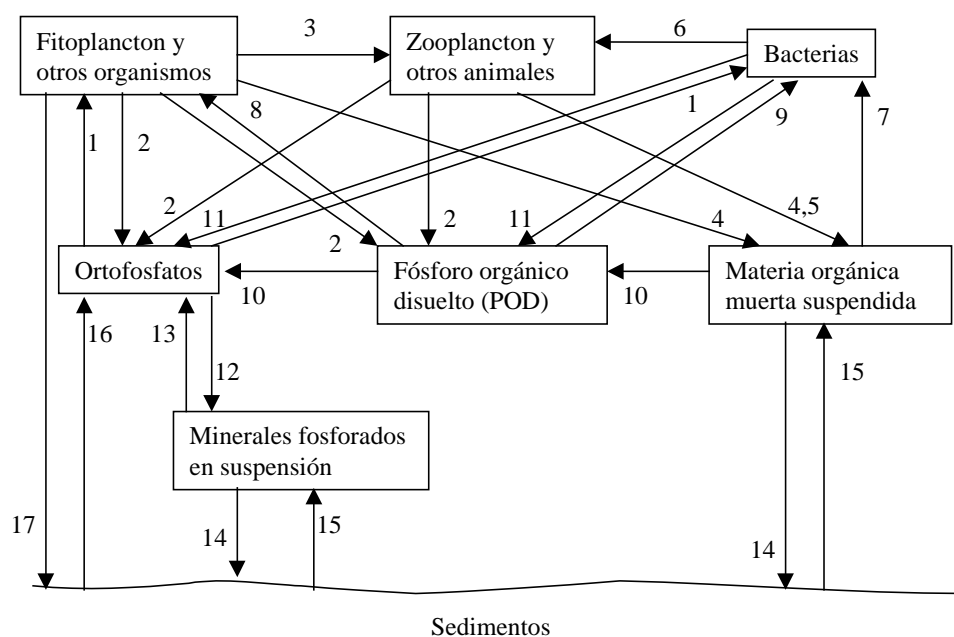


Figura 1.3.3. Ciclo del fósforo en ecosistemas acuáticos.

El fósforo es erosionado de la tierra y transportado a los estuarios y posteriormente al océano como una mezcla de formas particuladas y disueltas (materia orgánica muerta suspendida, fósforo orgánico particulado, ortofosfatos, minerales fosforados en suspensión). Además existe un intercambio con el mar abierto de ortofosfatos, fósforo orgánico particulado y materia orgánica suspendida.

El fitoplancton absorbe ortofosfatos (1) y consume POD (monoésteres) (8), pudiendo también liberar ambos tipos de compuestos al medio (2). Con su muerte aumenta la materia orgánica muerta suspendida (4) en el medio, bien de esta forma o como fitoplancton vivo o senescente que sedimenta hasta el fondo (17).

El zooplancton consume fitoplancton (3) y bacterias (6). Con sus excreciones se libera ortofosfatos y POD (2), y con su muerte y heces aumenta la cantidad de materia orgánica muerta suspendida en el agua (4 y 5 respectivamente).

Las bacterias absorben ortofosfatos (1), utilizan el POD (9) y degradan la materia orgánica muerta suspendida (7). En la autólisis bacteriana se libera ortofosfatos y POD (11).

La materia orgánica muerta suspendida puede llegar a sedimentar (14) o degradarse abióticamente a POD (10) y posteriormente a ortofosfatos (10).

Los ortofosfatos pueden formar partículas minerales al combinarse con cationes (Ca, Fe, etc) o ser adsorbidas en ellas (12), partículas que pueden llegar a sedimentar (14) o producirse una desorción y disolución liberando de nuevo ortofosfatos (13).

Por último, se puede producir una resuspensión de los sedimentos (15) o una liberación de ortofosfatos (16) desde éstos.

- Utilización del fósforo por el fitoplancton

La fuente de P preferida por el fitoplancton parece ser el ortofosfato. Los mecanismos de utilización son:

-Absorción del fosfato: El fitoplancton normalmente satisface sus necesidades de fósforo por asimilación directa de ortofosfato. Utiliza un sistema de transporte específico. De la fotosíntesis o de la respiración obtiene la energía necesaria para llevar a cabo la absorción. Por lo tanto está estimulada por la luz. Se pueden encontrar dos tipos de absorción. Una está regulada por los procesos

internos y se da en células sin deficiencia de fósforo. La otra se produce en tromba, en células con deficiencia de fósforo, cuando los acúmulos internos están vacíos, y no se encuentra regulada por procesos internos. Este segundo tipo de absorción se realiza con una tasa muy elevada, superando las necesidades de la célula, lo que se considera como un mecanismo adaptativo en células deficitarias en fósforo para aprovechar al máximo un incremento de la concentración exterior. Como apuntan Riley y Chester (1971), a concentraciones de fosfato superiores a 10 $\mu\text{g P/L}$, la tasa de crecimiento de muchas especies de fitoplancton es independiente de la concentración de fosfato. Sin embargo, si la concentración decrece bajo ese nivel crítico, la división celular se ve cada vez más inhibida, las células serán deficientes en fósforo, y por lo tanto la fotosíntesis cesa. Si esas células reciben un aporte de fosfato, lo asimilarán rápidamente.

Una vez en el interior de la célula, el ortofosfato pasa a formar parte, o bien de los acúmulos de reserva intracelulares o de elementos estructurales y funcionales.

- *Utilización de las formas orgánicas (ésteres)*: Muchas especies de fitoplancton, tanto en sus estados normales como deficientes en fósforo, son capaces de usar fosfatos orgánicos disueltos (por ejemplo glicerofosfatos y nucleótidos) (Riley y Chester, 1971). Los ésteres pueden ser utilizados por el fitoplancton por la acción de fosfatasas ácidas al disociarlos dando lugar a ortofosfato, e incluso éstas pueden ser liberadas al medio para facilitar la absorción. Las bacterias normalmente satisfacen sus grandes requerimientos de fósforo de los detritos orgánicos sobre los que viven. Sin embargo, si esta fuente es insuficiente en fósforo, son capaces de asimilar fosfato inorgánico disuelto desde el agua (Riley y Chester, 1971).

- Regeneración

El fósforo está presente en el interior de las células en diversas formas: ésteres de azúcares fácilmente hidrolizables (por ejemplo ATP), fosfolípidos y polifosfatos, el fósforo de los ácidos nucleicos. Éstas pueden ser regeneradas:

- Ésteres de azúcares fácilmente hidrolizables. Son liberados al morir la célula o por exudación del fitoplancton y otros organismos. Se hidrolizan rápidamente dando lugar a ortofosfatos. Son los de mayor velocidad de mineralización.
- Fosfolípidos y polifosfatos. Durante la autólisis se descomponen relativamente deprisa, bajo la acción enzimática.
- El fósforo de los ácidos nucleicos. Es la fracción más refractaria. Para su mineralización necesita de los diversos microorganismos, pasando previamente a fósforo orgánico disuelto. Son los de menor velocidad de mineralización.

1.3.2.2.- Variación estacional de los compuestos de fósforo

Como se muestra en Riley y Chester (1971), en zonas templadas, durante el invierno, mucho del fósforo está presente como ortofosfato. Sin embargo, éste decrece rápidamente al comienzo de la primavera al ser utilizado en la proliferación del fitoplancton, tal y como ocurre con las especies de nitrógeno. El consumo del fitoplancton por el zooplancton devuelve el fósforo al agua en sus excreciones tanto en forma de fosfatos como de compuestos de fósforo orgánico (PO). El PO será transformado a fósforo disuelto al final de primavera o comienzos del verano, cuando el fosfato puede haber decrecido a niveles tan bajos como 2 µg P/L en la zona eufótica (Riley y Chester, 1971). Después del bloom fitoplanctónico, la regeneración del fosfato desde el fitoplancton, detritus y compuestos de fósforo orgánico disuelto se produce rápidamente.

1.3.3.- Silicio

En los ecosistemas acuáticos, el silicio (Si) puede encontrarse tanto en forma disuelta como particulada. El agua de mar contiene en suspensión un amplio espectro de materiales silícicos finamente divididos. Muchos de ellos provienen de los cauces de los ríos. Las diversas formas que pueden aparecer son:

- Sílice disuelta en aguas: Se encuentra como ácido ortosilícico monomérico, Si(OH)_4 . Se encuentra normalmente sin dissociar, solamente en aguas muy alcalinas lo podemos encontrar dissociado. La despolimerización de la sílice sólida o coloidal produce ácido ortosilícico monomérico. La concentración del silicio en aguas continentales normalmente es mayor que en aguas marinas. Su

concentración varía tanto espacial como temporalmente. Generalmente se encuentra en exceso con respecto al nitrógeno y al fósforo.

- Sílice biogénica (sílice particulada de origen biológico): Se encuentra formando parte de las frústulas de las diatomeas (vivas o muertas) y de los caparazones de otros organismos (crisoficeas por ejemplo). Es una sílice amorfa, diferente de la sílice mineral cristalina tanto en su estructura como en lo que respecta a su tasa de disolución y producto de solubilidad, siendo esta sílice biogénica algo más soluble.

- Sílice particulada mineral: Se encuentra en la columna de agua formando parte de la materia en suspensión, fundamentalmente en forma de sílice cristalina y distintos silicatos. Es prácticamente inerte en los ecosistemas costeros debido a su baja solubilidad, por lo que tiene poca importancia en el ciclo del silicio.

1.3.3.1.- Transformación de los compuestos de sílice

Como describe Webb (1981), el ciclo del silicio es considerablemente diferente al del nitrógeno o fósforo desde un punto de vista biológico. La utilización del silicio es biológica y la mineralización es un proceso de solución química. En la figura 1.3.4 podemos observar un esquema del ciclo del silicio.

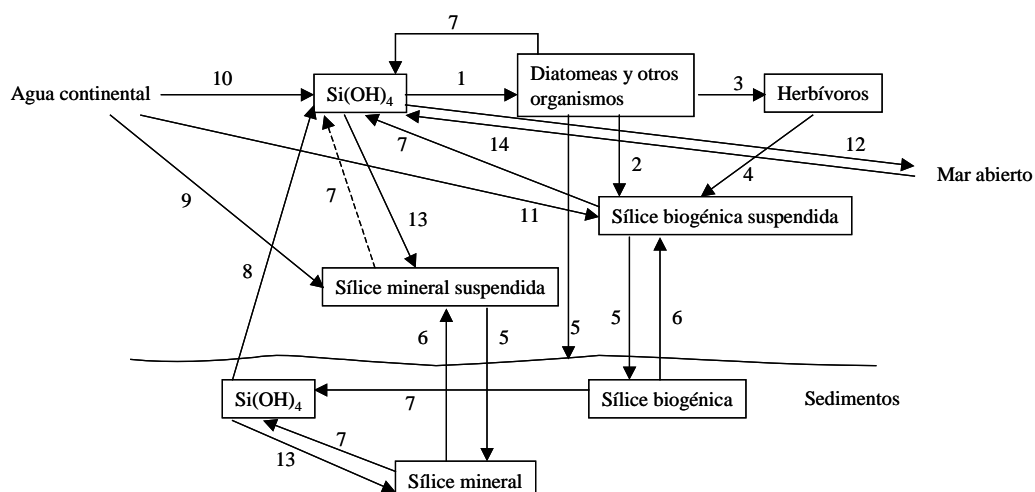


Figura 1.3.4. Ciclo del silicio en un ecosistema litoral.

1. Absorción de Si(OH)_4 por las diatomeas
2. Muerte de diatomeas
3. Ingestión por herbívoros
4. Excreción del zooplancton y otros animales
5. Sedimentación de la materia en suspensión (sílice mineral y biogénica) y otros organismos

6. Resuspensión de la materia en suspensión (sílice mineral y biogénica)
7. Disolución del silicio particulado
8. Flujo del Si(OH)_4 desde los sedimentos hacia la columna de agua
9. Aportes de minerales silíceos en suspensión por las aguas continentales
10. Aportes de Si(OH)_4 por las aguas continentales
11. Aportes de sílice biogénica por las aguas continentales
12. Pérdidas de Si(OH)_4 hacia mar abierto
13. Precipitación del Si(OH)_4
14. Aportes de Si(OH)_4 desde mar abierto

Las aguas continentales pueden aportar compuestos de sílice en forma disuelta o particulada (minerales silíceos en suspensión, Si(OH)_4 y sílice biogénica suspendida), correspondiendo en el esquema a los flujos 9, 10 y 11. Mientras que las aguas provenientes de mar abierto suelen aportar Si(OH)_4 (flujo 14), aunque con concentraciones claramente más bajas.

El material abiótico (sílice mineral y sílice biogénica), y también los organismos, pueden sedimentar cayendo hasta los sedimentos (proceso 5), o puede disolverse proporcionando Si(OH)_4 (proceso 7). En los sedimentos la sílice biogénica y mineral puede llegar a resuspenderse (proceso 6) o a disolverse proporcionando Si(OH)_4 (proceso 7) que disuelto en el agua intersticial de los sedimentos puede volver hacia el agua sobrenadante (flujo 8).

El Si(OH)_4 presente en el agua puede precipitar formando sílice mineral suspendida (proceso 13), puede perderse hacia mar abierto (flujo 12), o puede ser absorbido por las diatomeas y otros organismos (proceso 1). Estas diatomeas pueden ser ingeridas por herbívoros (proceso 3), que posteriormente con sus excreciones (proceso 4) o su muerte (proceso 2) proporcionarán sílice biogénica suspendida, o incluso sus frústulas pueden disolverse liberando Si(OH)_4 (proceso 7).

Por su importancia vamos a detallar un par de procesos:

- Utilización del silicio por las diatomeas (proceso 1)

Las diatomeas, que poseen un esqueleto compuesto de formas no cristalinas de sílice hidratado (Riley y Chester, 1971), pueden absorber y almacenar el silicio. El transporte del ácido ortosilícico al interior de las células se realiza

mediante un sistema de transporte ligado a la membrana celular. El almacenamiento se produce en el acúmulo intracelular cuya concentración en silicio es de 30 a 250 veces superior a la del medio.

La absorción está ligada a la división celular, siendo baja entre dos divisiones celulares, y alta en el momento en el que se produce la división. Pero se ha podido comprobar que el acúmulo interno de silicio es muy reducido en comparación con el total existente en la célula, menos del 10% (Paasche, 1980).

- Regeneración (proceso 2)

Cuando las diatomeas mueren, sus esqueletos rápidamente se disuelven (Riley y Chester, 1971). El silicio se disuelve más en agua salina que en agua destilada. La tasa de disolución aumenta con la temperatura y disminuye por la presencia de los cationes Fe^{+2} y Al^{+3} que estabilizan la sílice biogénica. En muchos estuarios, el silicio aportado por la regeneración en verano (mayor temperatura) excede el aportado por las aguas continentales.

1.3.3.2.- Variación estacional de los compuestos de sílice

Como hemos comentado anteriormente, el contenido en sílice disuelta en aguas costeras es generalmente alto, debido a su procedencia (escorrentía de tierra). Pero aún así existe una variación estacional en su concentración, variación muy similar a la que ya se comentó para el nitrógeno y el fósforo.

El crecimiento del fitoplancton en primavera causa una rápida disminución en la concentración de sílice. La regeneración de la sílice comienza durante el verano, cuando el crecimiento del fitoplancton disminuye, y continúa hasta un valor máximo a principios del invierno. Pero se ha encontrado que durante el otoño, en algunas áreas puede producirse un bloom de fitoplancton que puede causar una ruptura temporal en la regeneración (Riley y Chester, 1971).

1.4.- Los nutrientes como factores que limitan el crecimiento del fitoplancton

El fitoplancton constituye la base de las cadenas tróficas pelágicas, y por lo tanto cualquier cambio cuantitativo o cualitativo puede afectar la dinámica de los

niveles tróficos superiores (por ejemplo zooplancton) debido a la variabilidad en su biomasa y producción (Shiah et al., 1996).

La producción primaria puede definirse como el proceso por el cual, a partir de sustancias inorgánicas disueltas (nutrientes y CO₂ disueltos en el agua), los productores primarios (las plantas y algunas bacterias) sintetizan materia orgánica. Este proceso requiere energía que proviene de la radiación solar o de las reacciones químicas inorgánicas (Riley y Chester, 1971).

La luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y el consumo herbívoro son los cuatro factores más importantes que regulan la producción y la biomasa del fitoplancton (Shiah et al., 1996). De estos cuatro factores, el elemento que normalmente condiciona la producción primaria del fitoplancton es la disponibilidad de las “sales nutritivas” (compuestos de nitrógeno, fósforo, silicio). Pero existen estudios en los que se ha encontrado que la luz es el factor que limita la producción, sobre todo en invierno. Así, Shiah et al. (1996), encontraron para la desembocadura del Lanyang Hsi (Taiwan), bajos niveles de fitoplancton en presencia de altas concentraciones de nutrientes en el área más próxima a la desembocadura que presentaba altos niveles de turbidez, lo que parece indicar que en este caso la intensidad de la luz es el mayor factor limitante en los procesos de fotosíntesis. No siempre es un solo factor el que gobierna la producción primaria. Le Pape et al. (1996), encontraron en la bahía de Brest (Francia) que la producción primaria parecía estar controlada por varios factores: los nutrientes (con intercambio entre la limitación de ácido ortosilícico y nitrógeno inorgánico disuelto), el hidrodinamismo en la bahía (por intercambio mareal con el estrecho), y la luz.

Hay que tener presente que no sólo es necesaria la existencia de las “sales nutritivas”, sino que éstas estén disponibles para el fitoplancton. Por eso, es necesario que los nutrientes alcancen los niveles superficiales bien iluminados, para poder ser aprovechados por el fitoplancton y poder ser sintetizados en moléculas orgánicas para estar a disposición de los sucesivos niveles tróficos. Pero en general la concentración de nutrientes es siempre mayor en los niveles subsuperficiales y profundos, donde tiene principalmente lugar la

remineralización de la materia orgánica. Así, cualquier mecanismo que lleve a la superficie masas de agua profunda tendrá un efecto fertilizante sobre la capa eufótica.

Como anteriormente ya hemos indicado, las aguas vertidas por ríos, arroyos,..., transportan una gran cantidad de sales minerales, siendo estos aportes especialmente propicios al desarrollo del plancton vegetal al permanecer en una capa de aguas diluidas que se extienden superficialmente por su menor densidad.

1.4.1.- Importancia de los nutrientes que limitan la producción primaria

Los factores que limitan la producción, biomasa, etc., de una población (en nuestro caso la fitoplanctónica) reciben el nombre de factores o condiciones limitantes.

Hay que tener presente que el concepto “limitación” puede tener dos acepciones bastante diferentes. Una se refiere a la disponibilidad de un sistema para convertir los nutrientes adicionales en un incremento de biomasa y la otra se refiere a la limitación del crecimiento de organismos individuales. La limitación de la biomasa se ha llamado “sistemática”, mientras que la limitación del crecimiento por el bloqueo de los procesos esenciales para crecer se ha denominado “fisiológica”. Así se puede comprobar en la “paradoja” de Goldman et al. (1979), que sugiere que en áreas oligotróficas (pobres en nutrientes) que son áreas con limitación sistemática, el fitoplancton crece, sin embargo, a tasas cercanas a su máximo de crecimiento (es decir, no está limitado fisiológicamente) (Thingstad y Rassoulzadegan, 1995; Thingstad et al., 1998).

Los procesos metabólicos, que son la base de la dinámica del ecosistema acuático, en términos de transformaciones de masas, están gobernados por principios estequiométricos relativamente simples (Vollenweider et al., 1996). La composición elemental del bioeston (primariamente fitoplancton, zooplancton, bacterias,...) engloba una gran variedad de elementos (Hecky y Kilham, 1988; Vollenweider et al., 1996):

- C, N, H, O, P, S (forman parte de las proteínas, carbohidratos, lípidos, DNA, RNA,...)

- Ca, Mg, K, Na, Cl
- Fe, Mn, Co, Zn, Mo, Cu, B, V (elementos traza)
- Si, Al, y otros (no tienen una función estructural o metabólica específica, excepto el Si que es un componente de las diatomeas)

Por término medio, el C, N, P y S en el bioseston marino se encuentran aproximadamente en la proporción 106:16:1:1 (41:7.2:1:1 en peso), llamada relación de Redfield. $C_{106}N_{16}H_{180}O_{44}(PO_4)SH$ representa la composición molar de la biomasa. De todas maneras esta relación depende mucho de las especies, de su estado fisiológico, de la cantidad de proteínas, carbohidratos, lípidos y otros compuestos presentes en el material celular (Vollenweider et al., 1996). Generalmente se supone que las células fitoplanctónicas absorben los nutrientes en proporciones atómicas aproximadamente constantes y similares a las que se encuentran en los organismos vivos (C:N:P:Si = 106:16:1:16). Sin embargo, hay que tener presente que no todas las especies poseen estas proporciones, y que además estas relaciones pueden variar dentro de una misma especie dependiendo del ciclo diario y de las condiciones nutricionales previas.

Como se detalla en Vollenweider et al. (1996), los elementos o compuestos que podrían llegar a limitar el crecimiento del fitoplancton serían, carbono (en forma de dióxido de carbono, bicarbonatos y carbonatos), azufre (en forma de sulfatos), nitrógeno, fósforo, silicio, hasta incluso ciertos elementos como hierro, manganeso, cobalto, molibdeno. Incluso algunas especies de dinoflagelados presentes en las mareas rojas, parecen necesitar selenio y muchas especies de algas requieren vitaminas, simples o en varias combinaciones. Pero tanto en el agua dulce como marina, el C y el S se encuentran normalmente en exceso relativo al N y P. Por lo tanto, en principio tanto el C como el S es difícil que sean los nutrientes limitantes.

Los criterios para la limitación estequiométrica de nutrientes se basan normalmente en la relación atómica Si:N:P del fitoplancton, que es aproximadamente 16:16:1 cuando los niveles de nutrientes son suficientes, y que normalmente es conocida como relación de Redfield. Las desviaciones de esta relación indican limitación de N, P ó Si para el crecimiento del fitoplancton.

Cuando las aguas receptoras tienen limitación de P la biomasa fitoplanctónica tiene una relación N/P bastante superior a la relación de Redfield (15-16). Cuando el N es el limitante, la relación de Redfield es más baja (Correll, 1998). Como se detalla en Justic et al. (1995) existirá limitación de fósforo cuando $Si:P > 22$ y $NID:P > 22$, existirá limitación de N cuando $NID:P < 10$ y $Si:NID > 1$, y existirá limitación de Si cuando $Si:P < 10$ y $Si:NID < 1$.

1.4.2.- Variabilidad en el “nutriente limitante” en función de la zona de estudio

Como era de prever, el nutriente que limita el crecimiento del fitoplancton varía dependiendo de la zona de estudio e incluso de las condiciones ambientales que en ella se den.

Tradicionalmente, en aguas dulces y lagos tropicales, el consenso general es que el P es el que limita el crecimiento del fitoplancton, aunque durante el verano, cuando los nutrientes inorgánicos disueltos son eliminados de la zona fótica, puede tener importancia la limitación de N (Conley, 2000).

Tradicionalmente el crecimiento y la producción de las poblaciones de plancton (bacterias y algas) de los ecosistemas litorales se ha considerado que está limitado por el nitrógeno (Conley, 2000; Graneli, 1987; Le Pape et al., 1996; L’Helguen et al., 1996; Sik-Lee et al., 1996; Thompson, 1998; Vollenweider et al., 1996; Zohary y Robarts, 1998). En cambio, otros estudios indican que es el fósforo el nutriente limitante, como parece ocurrir a lo largo de la costa este de Estados Unidos (en la bahía de Chesapeake y en el río Hudson) (Myers y Iverson, 1981; Taft y Taylor, 1975), en grandes áreas a lo largo de la costa de China (Harrison et al., 1990), en el mar de los Sargazos (Cotner et al., 1997), en la pluma del estuario del Garona en la bahía de Vizcaya (Herbland et al., 1998), y en el mar Mediterráneo. Éste es un caso especial, ya que en este mar confinado, es el fósforo el principal factor limitante. Multitud de estudios en esta cuenca así lo demuestran, Vollenweider et al. (1996) para las aguas costeras de Emilia-Romaña, Krom et al. (1991) para el este del Mediterráneo, Estrada (1996) y Thingstad et al. (1998) para el noroeste del Mediterráneo.

Pero en cualquier revisión bibliográfica podemos encontrar también limitaciones nutricionales de la población fitoplanctónica distintas del nitrógeno o del fósforo. Éstas van desde silicio (diatomeas) (Justic et al., 1995; Sellner y Kachur, 1987) hasta metales pesados como el hierro (Geider y Laroche, 1994; Martin et al., 1994) o el zinc (Morel et al., 1994).

El ciclo biogeoquímico del silicio puede verse afectado por el enriquecimiento con N y P, haciendo que el Si pueda llegar a ser el nutriente limitante en algunas zonas, al variar las relaciones Si:N y Si:P de las aguas receptoras (Conley et al., 1993). Esos cambios en la disponibilidad de silicatos disueltos causan el reemplazo de diatomeas por otras especies de fitoplancton que no requieren sílice para crecer. Las consecuencias en el ecosistema son la reducción de la abundancia de uno de los más importantes grupos de algas que alteraría las cadenas tróficas (Conley, 2000). Los mismos resultados parecen encontrarse en el mar Adriático y en el golfo de Méjico, como se indica en Justic et al. (1995), donde sus análisis indican un incremento histórico en la limitación de Si.

Pero incluso en una misma zona de estudio, puede haber cambios en el factor que limita la producción primaria. En el estudio realizado en la bahía de Brest por Le Pape et al. (1996) se apuntaba, como anteriormente dijimos, que el NID y el Si eran factores limitantes que iban alternándose, pero como se concluye de este estudio, si la disminución de Si/N residual aumenta durante el verano, la limitación de Si puede ocurrir constantemente, con importantes consecuencias sobre la composición del fitoplancton. En Conley (2000) se detallan un gran número de estuarios que muestran una limitación de P en primavera y de N en verano. Entre ellos podemos citar: en el mar Báltico el estuario de Himmerfjärden (Suecia) y el golfo de Riga (Letonia); los fiordos de Roskilde (Dinamarca); en la bahía de Chesapeake (Estados Unidos), Mainstem, el estuario del río Patuxent, el estuario del río York y el estuario del río Rhode; el estuario de Delaware y el del río Neuse en Estados Unidos.

En el estudio realizado por Wassmann y Tamminen (1999) en el golfo de Riga, se puede comprobar que las propiedades físicas del área pueden también

influir en el factor que limita el crecimiento del fitoplancton. Así, se encontró que la producción planctónica y las tasas de respiración, en relación con el viento, radiación solar, biomasa y nutrientes, revelaban que el factor limitante para el crecimiento del fitoplancton era el suministro de nutrientes durante la primavera y el verano. En cambio, en el otoño, la combinación de bajos niveles de luz y la mezcla profunda vertical provocada por el viento condujo a condiciones de limitación de luz. En las tres situaciones, las condiciones de crecimiento estaban muy influenciadas por las fuerzas que actuaban sobre el sistema (calentamiento solar y viento). De hecho, se encontró que la producción primaria diaria podía variar en un factor de dos dependiendo de tales condiciones.

1.4.3.- El mar Mediterráneo

El mar Mediterráneo es un mar con un déficit hídrico, una cuenca de concentración, de tal forma que la evaporación de sus aguas es cuantitativamente más importante que los aportes que recibe a través de los ríos tributarios. Este desnivel virtual a que da lugar este balance negativo, es la causa de la entrada de agua superficial a través del estrecho de Gibraltar, que detallaremos posteriormente. Procedente del Atlántico se estima una entrada de 1 millón de m^3/s , mientras que sale por el fondo sobre el 95% de este volumen. La diferencia entre ambos más los aportes fluviales recibidos, equivaldría a la evaporación (Rodríguez, 1982).

Debido a esto, la carga de nutrientes, tanto N como P en la cuenca del Mediterráneo es baja en comparación con las aguas del Atlántico. Es un mar oligotrófico. Tanto las aguas superficiales como profundas son bastantes más pobres en sales nutritivas en el Mediterráneo que en la zona atlántica más próxima, pobreza que se hace más acusada a medida que avanzamos hacia el este. Las aguas atlánticas que entran por la superficie son más pobres en nutrientes que las aguas profundas que salen del Mediterráneo (tienen mayor riqueza debido a que la descomposición de la materia orgánica sintetizada cerca de la superficie se realiza principalmente a niveles más profundos), aunque más ricas que las aguas mediterráneas situadas a su mismo nivel (Rodríguez, 1982).

Las concentraciones de fosfato y nitrato se han ido incrementado en las aguas profundas de la cuenca oeste debido a un incremento en la agricultura y en las actividades industriales y urbanas durante los años 60. Como se indica en Bethoux et al. (1992) en la cuenca oeste, al final de los 80 la fuente total atmosférica y terrestre aumenta a $8-10 \cdot 10^9$ mol/año de fosfato y $190-220 \cdot 10^9$ mol/año en nitrato. Se ha podido comprobar en un estudio realizado en el litoral de Benicasim-Castellón, que los aportes de aguas a esta zona pueden englobarse en dos tipos, aguas residuales urbanas que son ricas en fósforo, materia orgánica y formas reducidas de nitrógeno y las aguas provenientes de regadíos que son ricas en nitratos (Fuentes, 1999).

Las relaciones entre P y N son especiales en el Mediterráneo, en general son bastante más altas que la relación de Redfield, con grandes posibilidades que el P sea el limitante en la producción primaria (Thingstad y Rassoulzadegan, 1995). De hecho, como se indica en Bethoux et al. (1992), la relación molar N/P en el Mediterráneo está entre 21-23, frente a 15 que suele encontrarse en la mayoría de los océanos. En un estudio realizado por Krom et al. (1991), se ha mostrado que la relación N/P se incrementa en el Mediterráneo de este a oeste con un valor de 22.5:1 encontrado en el mar de Alborán, 24.3:1 en el mar de Creta, y 27-29:1 medido en la cuenca este del Mediterráneo.

En el Mediterráneo, con su relativamente baja entrada de agua dulce y alta salinidad, las relaciones N/P que se dan en sus aguas profundas a medida que disminuye la influencia del Atlántico, son difíciles de explicar como una consecuencia de la influencia del agua dulce. Algunos autores sugieren que la fijación de nitrógeno en aguas costeras o la precipitación selectiva de fosfato debido a la entrada de hierro por la arena del Sahara, podrían explicar esta limitación del fósforo (Bethoux et al., 1992; Thingstad y Rassoulzadegan, 1995; Thingstad et al., 1998; Vulot et al., 1996).

1.5.- Comportamiento de los nutrientes en las plumas fluviales

En comparación con las zonas fluviales estuarinas propiamente dichas y con las zonas costeras marinas más alejadas de la costa, las zonas de plumas estuarinas no han recibido tanta atención, por lo menos en lo que se refiere al

comportamiento de los nutrientes en la parte de la columna de agua donde se mezcla el agua dulce/salobre del río con el agua más salina del mar. Existen multitud de publicaciones que se centran en los comportamientos hidrodinámicos de estas plumas fluviales, muchos de ellos descriptivos como los realizados por ejemplo por Blanton et al. (1997), Broche et al. (1998), Estournel et al. (1997), Naudin, et al. (1997) y Stumpf et al. (1993). Otros tantos están centrados en el modelado de las plumas fluviales, como por ejemplo los realizados por Blumberg et al. (1996), Davies y Xing (1999), Marsaleix et al. (1998) y O'Donnell et al. (1998). Evidentemente también hay bastantes publicaciones que están centradas en el estudio de los diversos nutrientes y del fitoplancton, desde el punto de vista biogeoquímico, como las realizadas por Bianchi et al. (1999), Bode y Dortch (1996), Gong et al. (1996), Lohrenz et al. (1999), Maestrini et al. (1997), Ménesguen et al. (1995) y Morris et al. (1995). Algunos otros describen modelos eco-hidrodinámicos, que acoplan submodelos hidrodinámicos y biogeoquímicos, como es el caso de Chapelle et al. (1994) y Crise et al. (1998/1999). Pero en la mayoría de estas publicaciones las técnicas de muestreo utilizadas no son muy aplicables a nuestra zona de estudio, debido a que el espesor de la pluma formada por el río Ebro suele ser del orden de 1 metro, como posteriormente veremos. La mayoría de los estudios realizados usan para la recogida de muestras las denominadas botellas Niskin como por ejemplo Bode y Dortch (1996), Gong et al. (1996), Herbland et al. (1998) y Maestrini et al. (1997) que toman las muestras de agua cada 10 m de profundidad o Brzezinski y Nelson (1995) que toman las muestras de agua cada 20 m de profundidad acopladas a un CTD. Incluso otros utilizan simplemente datos de salinidad/conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, pH,... provenientes de un CTD, como Broche et al. (1998) para explicar el comportamiento de la pluma. Otros estudios recogen solamente 2 ó 3 muestras en cada estación de muestreo, que suelen ser simplemente de agua superficial y profunda, como Gaudy et al. (1996), Maestrini et al. (1997) y Ménesguen et al. (1995). O incluso algunos estudios como los realizados por Bode y Dortch (1996) o Morris et al. (1995) toman simplemente una muestra de agua superficial. Caso aparte merece el estudio realizado por Naudin et al. (2001) en la pluma del río Ródano, donde se recogen muestras de agua a 5 profundidades diferentes (0.2, 1, 2, 3 y 10 m) en cada estación de muestreo.

Como se indica en Morris et al. (1995), teóricamente hay tres caminos de cuantificar la influencia de la zona de la pluma estuarina en la transferencia de material proveniente de tierra a los mares costeros:

- Se puede usar el método de “curvas de mezcla” que normalmente son aplicadas en estudios estuarinos, en los que la distribución de la concentración de un constituyente químico en la pluma se compara con la distribución de un trazador conservativo proveniente de la misma fuente, que generalmente es la salinidad, pues varía linealmente en función de la tasa de dilución del agua dulce en el mar. Es el método más utilizado, proporciona información de si la mezcla tiene un comportamiento conservativo o no, pero no da información de qué procesos causan este comportamiento conservativo.

- Se pueden comparar los flujos estimados que emanan de la boca de un estuario con las estimaciones de los flujos netos a través del límite de la pluma, que se supone encerrada en una “caja negra” aproximada. Se necesita una cuantificación exacta del flujo neto a través de la boca del estuario, lo cual normalmente no es fácil de obtener. Este método necesita tener una gran precisión en la localización de dicho límite y en los valores de nutrientes en el flujo de entrada del agua dulce y fuera de sus límites. Además es mucho más sensible a los procesos que puedan tener lugar en el mismo límite de la pluma, de forma que procesos que tienen lugar solamente dentro de la pluma pueden pasar desapercibidos. Esto es lo que ocurre por ejemplo durante periodos de alta actividad biológica, pues si el crecimiento del plancton tiene lugar en el interior de la pluma pero no en sus límites, el balance calculado puede que no refleje que la pluma está actuando como un sumidero. Igual que el método anterior, proporciona una estimación del efecto neto de los procesos conservativos que tienen lugar en la zona de la pluma, sin identificar específicamente dichos procesos.

- Pueden identificarse todos los procesos que afectan a un constituyente en la pluma y cuantificarse sus tasas, y por lo tanto se puede realizar un balance de masas. Requiere que todos los procesos no conservativos sean identificados y cuantificados, incluso también sus variabilidades espaciales y temporales. Pero esto suele ser difícil de conseguir, pues por ejemplo la producción primaria es muy variable tanto temporal como espacialmente.

Como se ha visto, cada uno de estos tres métodos tiene sus propias limitaciones. El método ideal sería desde luego la combinación de las tres técnicas, siempre y cuando sea posible y se posean todos los datos necesarios.

En nuestro caso, a la vista de los datos que poseemos, y ya que es uno de los métodos más utilizados, hemos optado por el método de las curvas de mezcla, por lo que pasaremos a describirla más detalladamente.

El comportamiento de la concentración de una especie química en una mezcla, en este caso la que se da en la pluma, seguiría una línea recta entre los dos extremos del continuo (las aguas fluviales y marinas estrictas) si sólo interviene la mezcla física pura. Para analizar este comportamiento y sus desviaciones de la mezcla física pura se utiliza, como ya hemos indicado la salinidad o los cloruros, al ser una propiedad conservativa sobre las que se miden las variaciones de los demás elementos. La figura 1.5.1 ilustra el comportamiento hipotético de una sustancia en el ambiente estuarino en función de la salinidad.

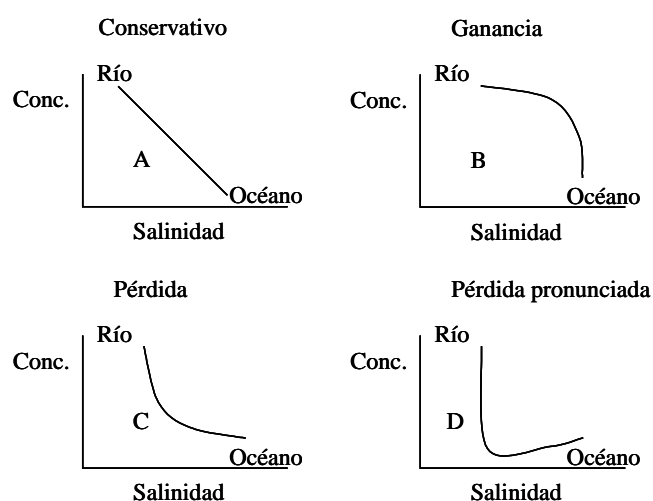


Figura 1.5.1. Comportamiento de una sustancia en un ambiente estuarino.

Las desviaciones de la linealidad (B, C y D) indican un comportamiento no conservativo, es decir que hay una pérdida o ganancia neta en el estuario o en la pluma estuarina. Esas curvas no proporcionan una total comprensión de los procesos dinámicos estuarinos que pueden estar ocurriendo. Una respuesta lineal (tipo A) no significa necesariamente que la sustancia no esté participando en procesos biogeoquímicos en el sistema, sino que las pérdidas y ganancias están

equilibradas y el estuario está en un “estado estacionario” con respecto a esa sustancia particular (Biggs y Cronin, 1981).

Como ya hemos dicho, las aguas continentales tienen normalmente un contenido mucho más alto en nutrientes que las aguas marinas, generándose por tanto un proceso de mezcla y difusión de los nutrientes, que es, en principio, inversa a la de la salinidad (Davies y Xing, 1999). Pero el comportamiento de los nutrientes tanto en el estuario como en la pluma, no está solamente definido por la mezcla física en sí, sino que también está afectado por los distintos procesos biológicos y físicoquímicos que puedan ocurrir. Entre estos cabe señalar: adsorción/desorción, floculación/disgregación, producción/consumo, asimilación/excrección o advección/sedimentación (Broche et al., 1998). Algunos autores presentan evidencias de que sólo los procesos biológicos están involucrados en las concentraciones de nutrientes cuando el río desemboca en el océano (Morris et al., 1995). Aunque como indican Broche et al. (1998) todos los procesos químicos y biológicos dependen fuertemente de las propiedades físicas del fluido en el que ocurren. Por ejemplo, Naudin et al. (1997) encontraron que la disminución de la salinidad inducida por la salida de agua dulce al ambiente marino interrumpe la producción primaria e impide su reanudación durante el tiempo en el que domina la influencia fluvial. Dicho proceso cabría achacarlo al shock salino que sufren los organismos fluviales cuyo efecto no ha podido ser compensado por la proliferación de las especies salobres/marinas.

Lógicamente la afección de los procesos biológicos al comportamiento de la mezcla estuarina variará en función tanto de los nutrientes como de sus formas, teniendo un mayor efecto sobre aquel nutriente que limite el crecimiento de la población planctónica.

Evidentemente, también el comportamiento de los diferentes nutrientes en las plumas fluviales variará tanto regional como estacionalmente al hacerlo la actividad biológica. Como se apunta en Ménesguen y Hoch (1997), las áreas oligotróficas o las mesotróficas se caracterizan por la existencia de bajas concentraciones de clorofila durante los meses de invierno, un intenso bloom de fitoplancton en primavera, compuesto principalmente de diatomeas, seguido por

unos valores aún más bajos durante el verano, y finalizando en otoño con un segundo bloom menos intenso. En cambio, en las áreas eutróficas el patrón estacional es bastante diferente pues poseen entradas continuas de nutrientes durante todo el año aunque menos abundantes en verano, y suele darse un bloom fitoplanctónico en verano que es mayor que en primavera y otoño.

Lohrenz et al. (1999) en la pluma del río Mississippi durante 1988-1992, ponen de manifiesto que a salinidades intermedias en la columna de agua, las concentraciones de los nutrientes estudiados (nitrato + nitrito, ortofosfato, ácido ortosilícico) no pueden atribuirse simplemente a la mezcla entre el agua superficial y la masa oceánica profunda. Sólo durante la campaña de abril de 1988 los nutrientes muestran un comportamiento conservativo. En cambio, en el resto de muestreos se pone de manifiesto una pérdida de los nutrientes más o menos acusada en las capas subsuperficiales, cuya explicación puede venir por la asimilación de éstos por los organismos de dicha capa, como lo evidencia el hecho de encontrar máximos subsuperficiales tanto de clorofila *a* como de la productividad. Del mismo modo encuentran algunos momentos donde las concentraciones de nutrientes son mayores de lo esperado por la mezcla conservativa, atribuyéndolo a la desorción de partículas, remineralización de materia orgánica o afloramiento de agua profunda.

Similares resultados parecen encontrarse en el estudio realizado por Pakulski et al. (2000) en las plumas del río Mississippi y del Atchafalaya durante el mes de julio de 1993. Se encuentran pérdidas en nitrógeno disuelto total, nitrógeno inorgánico disuelto, nitrato, ácido ortosilícico y fósforo soluble reactivo en salinidades intermedias, lo cual es consistente con la utilización fotosintética de esas sustancias en ambas plumas. En la pluma del Mississippi, se encontraron ganancias en nitrógeno orgánico disuelto y nitrito a salinidades intermedias en relación con la mezcla conservativa. En la pluma del Atchafalaya, se encontraron ganancias en amonio y fósforo orgánico disuelto, mientras que el nitrógeno orgánico disuelto no muestra una tendencia clara a lo largo del gradiente de salinidad de la pluma.

Evidentemente, como hemos podido comprobar no todos los compuestos de los diferentes nutrientes (N, P y Si) se comportan de la misma manera en la mezcla estuarina, pues como ya hemos indicado a cada uno de ellos le afecta un proceso u otro en mayor o menor medida.

1.6.- Objetivos

Los objetivos de este estudio son:

- Determinar la influencia relativa de los aportes de nutrientes de diferentes fuentes en el comportamiento del sistema.
- Implementar un sistema de muestreo que permita una mayor precisión y repetibilidad en zonas de gradientes bruscos en la capa superficial.
- Establecer las pautas espaciales de los nutrientes y sus causas.
- Establecer los factores que determinan las posibles variaciones estacionales.
- Determinar el comportamiento en la mezcla estuarina de los distintos nutrientes.

CAPÍTULO 2

ZONA DE ESTUDIO

2.1.- Situación geográfica y características generales

El presente estudio se ha llevado a cabo frente a la desembocadura del río Ebro, en la costa este de la Península Ibérica (Figura 2.1.1). La zona de interés corresponde a la denominada pluma (o penacho) fluvial formada cuando las aguas dulces/salobres del río Ebro desembocan en el mar Mediterráneo. Sobre el comportamiento de esta pluma estuarina influirán tanto las aguas del río Ebro como las del mar Mediterráneo.



Figura 2.1.1. Delta del Ebro. Localización geográfica y detalle del mismo.

2.1.1.- El río Ebro

El río Ebro es el sistema fluvial más largo del litoral español del Mediterráneo, posee 928 km de curso fluvial y una cuenca de drenaje de 85550 km². Fluye a través de varias ciudades y terrenos agrícolas, mineros e industriales, finalizando en el Delta del Ebro (40° 40'N y 0° 40'E), una zona sedimentaria de 320.59 km². Como describe Ibàñez (1993), el río en su parte baja lo divide en dos hemideltas. El hemidelta derecho ocupa una extensión de 186.46 km² incluyendo la Punta de la Banya y la Barra del Trabucador, con una extensión de 25 km², que delimitan la llamada Bahía d'Els Alfacs. Por su parte, el hemidelta izquierdo ocupa una extensión de 119.22 km² incluyendo la Punta del Fangar, con una extensión de 4.1 km², que delimita la llamada Bahía del Fangar. Hay también 14.91 km² de islas fluviales, entre las que destacan la Isla de Buda (12.31 km²). Pero ésta actualmente ya no es propiamente una isla, pues la antigua "Gola de Migjorn" conecta con el mar solamente en momentos de fuertes crecidas del río, avenidas o temporales (Fernández Colomé et al., 1997), presentando actualmente una sola boca funcional permanente denominada "Gola de Sorrapa". Como apuntan Ibàñez et al. (1997), la parte deltaica del río tiene una longitud de 29 km, con una profundidad media máxima de 6.8 m y una anchura media de 237 m. Los espacios naturales ocupan 75 km², repartidos de la siguiente forma: 37.63 km² de playas y arenales, 20.78 km² de humedales y 16.64 km² de lagunas, destacando la laguna de la Encanyissada (5.55 km²) (Ibàñez, 1993).

El 77% del área del Delta del Ebro es usado para la agricultura y está dominado por el cultivo del arroz, que ocupa una extensión de más de 150 km². Según apuntan Christian et al. (1996), el 57% del área superficial del Delta del Ebro está cubierto de arrozales. Estos cultivos de arroz pueden influir en gran medida en la calidad de las aguas del río, y su influencia será más notoria en las épocas del año en las que se cultivan (desde final de abril a final de septiembre).

Los caudales de agua del río Ebro que desembocan en el Mediterráneo son muy variables. Su descarga media anual se ha reducido un 29% en los últimos años, pasando de 592 m³/s a 424 m³/s (Ibàñez et al., 1996). La variación en los caudales se debe a que el río Ebro es un río regulado, existiendo 138 presas en toda su cuenca con una capacidad de 6.51 km³ (Ibàñez et al., 1996). En los

últimos 100 km del río, existen 3 embalses, Mequinenza (1530 Hm³), Ribarroja (291 Hm³) y Flix (11.7 Hm³) que regulan los caudales vertidos al mar. Se estima un caudal medio de aproximadamente unos 10000 Hm³/año (variando entre 5000 y 14000 Hm³), transportando unas 21000 tm de nitrógeno y unas 1200 tm de fósforo (Fernández Colomé et al., 1997). De hecho, como describe Muñoz (1989), los caudales suelen ser mínimos en verano e invierno y máximos en primavera, pero pueden variar ampliamente en cuestión de horas llegando incluso a aumentar algunos órdenes de magnitud. La velocidad de la corriente en la parte baja del río se ha estimado próxima a 1 m/s (Muñoz, 1989).

Pero como apuntan Ibàñez et al. (1999), hay que tener en cuenta que también existe otra cantidad de agua dulce proveniente del Delta del Ebro que desemboca al Mediterráneo, y que no lo hace por su desembocadura típica (la “Gola de Sorrapa”), sino que proveniente de la extensa red de canales y acequias y después de pasar por los arrozales, va a parar al mar a través de las lagunas y bahías (ver figura 2.1.1). Se ha estimado que por la parte norte de la desembocadura existe un desagüe total de 11.1 m³/s y por la parte sur 19.2 m³/s. De todas maneras, se apunta que estos aportes sólo son importantes en la época del cultivo del arroz.

El Ebro en su desembocadura es un estuario estratificado con cuña salina. Normalmente esta cuña salina llega a la Isla de Gracia, a 18 km de la desembocadura, pero esta posición puede variar en función de la descarga del río, teniendo las mareas una menor importancia (Ibàñez et al., 1997). Como apuntan Fernández Colomé et al. (1997), el agua del río Ebro no es de los que contiene una mayor carga de nutrientes, comparados con otros ríos y deltas del Mediterráneo. En el tramo final son comunes las concentraciones de nitrógeno total de 160 mg/m³ y de fósforo total de 5 mg/m³, que ponen en evidencia el creciente proceso de eutrofización ocurrido en toda la cuenca. Como se describe en Ibàñez et al. (1995), las concentraciones de fosfato y nitrato han aumentando en los últimos años. Los datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro apuntan a un aumento de 0.2 mg/L de fosfato y 3 mg/L de nitrato a principios de los años 70 y de 0.9 mg/L de fosfato y 9 mg/L de nitrato a comienzos de los 90. Las causas de este aumento son el desarrollo de cultivos intensivos en la zona, un incremento de la

población en su cuenca, el desarrollo industrial, la construcción de presas y la reducción de la descarga del río. Pinilla López-Oliva (1997) ha encontrado valores máximos de amonio de 50 $\mu\text{moles/L}$ y mínimos de 2 $\mu\text{moles/L}$, máximos de nitrato de 350 $\mu\text{moles/L}$ y mínimos de 32 $\mu\text{moles/L}$, y máximos de fosfato de 15 $\mu\text{moles/L}$ y mínimos de 2 $\mu\text{moles/L}$. Como indica Muñoz (1989), la mayor parte del nitrógeno que llega al Mediterráneo proveniente del Ebro, está en forma disuelta, mientras que el fósforo llega en su mayor parte en forma particulada especialmente en el verano.

2.1.2.- El mar Mediterráneo

El mar Mediterráneo se extiende entre Europa y África, ocupando unos 3800 km de oeste a este y 800 km de norte a sur, cubriendo unos 2.5 millones de km^2 y encerrando un volumen de agua de 3.7 millones de km^3 . Su profundidad media es de unos 1500 m (la zona más profunda se encuentra en la fosa helénica del mar Jónico (5121 m)) (Rodríguez, 1982). La península de Italia y Sicilia lo dividen en dos cuencas, la oeste y la este, comunicadas a través del canal de Sicilia. El mar Mediterráneo se encuentra conectado con el océano Atlántico por el estrecho de Gibraltar (14 km de ancho y 350 m profundo), y con el mar Negro por el estrecho del Bósforo y de los Dardanelos (mucho menos importante su comunicación). Se ha establecido una comunicación artificial con el océano Índico (mar Rojo) a través del canal de Suez.

El mar Mediterráneo se comporta como una cuenca de concentración, pues la evaporación de sus aguas es más importante que los aportes que recibe a través de los ríos tributarios. Para mantener el equilibrio en agua y sal en la cuenca mediterránea existen dos corrientes simultáneas e inversas en el estrecho de Gibraltar. Al ser el agua mediterránea más densa (salinidad media de 37.9 ‰ en el Mediterráneo y 36.15 ‰ en el Atlántico), estas dos corrientes inversas se superponen: el agua atlántica entrante lo hace por superficie, mientras que las aguas mediterráneas salen al océano por el fondo del estrecho (Rodríguez, 1982). Las aguas atlánticas entrantes que se dirigen hacia el este llegan a mostrar su influencia en el extremo oriental de la cuenca. Esta corriente atlántica superficial está afectada por la fuerza de Coriolis, que la empuja hacia la derecha y la obliga a discurrir pegada a la costa africana. Esto da lugar a una circulación de tipo

ciclónico (sentido opuesto a las agujas del reloj) en las diferentes cuencas (Vollenweider et al., 1996). A través del estrecho de Gibraltar se estima una entrada de 1 millón de m^3/s de agua superficial procedente del océano Atlántico, mientras que sale por el fondo alrededor del 95% de este volumen (Rodríguez, 1982).

El mar Mediterráneo se considera un mar micromareal, pues la marea oceánica apenas llega a penetrar en el Mediterráneo, y la pequeña extensión de la cuenca impide la formación de marea propia. Por todo ello, las mareas en el Mediterráneo son muy débiles, la amplitud no supera normalmente los 20-40 cm y posee una periodicidad semidiurna (Ibáñez et al., 1997; Rodríguez, 1982).

En principio se admite que el Mediterráneo es un mar pobre en nutrientes. Su estado generalmente oligotrófico ha sido tradicionalmente explicado como consecuencia de su circulación antiestuarina (Thingstad et al., 1998), que como ya hemos visto provoca la entrada de agua pobre en nutrientes procedente del Atlántico, y la salida de agua rica en nutrientes. Como señala Rodríguez (1982), la concentración de nutrientes, tanto nitrógeno como fósforo, en su cuenca suele considerarse baja en comparación a otras áreas de mares cerrados. En el Mediterráneo, como se apunta en Crise et al. (1998), en los meses de invierno suele producirse una baja irradiación y una mezcla vertical, generando una alta disponibilidad de nutrientes. En cambio en verano suele encontrarse una alta irradiación, fuerte estratificación y por lo tanto una disminución de nutrientes.

En la zona de estudio, como ya hemos indicado, la marea es insignificante, y no tiene gran influencia sobre el comportamiento hidráulico del tramo final del río Ebro. Este bajo rango de mareas favorece la existencia de la cuña salina, y causa que la dinámica hidrológica esté principalmente controlada por la descarga del río.

En la zona del Delta del Ebro, el tiempo meteorológico es típicamente mediterráneo. Los inviernos suelen ser tibios, sin temperaturas extremadamente bajas, y poco lluviosos. Los vientos suelen ser secos, con predominancia de la componente N y NW. Los veranos suelen ser calurosos con temperaturas

oscilando entre 25-30 °C, con vientos dominantes de dirección S y SW, aunque los más fuertes provienen del E. Las precipitaciones anuales suelen ser escasas e irregulares, pero suelen concentrarse en primavera y otoño. Como describe Muñoz (1989), los vientos de “Mestral” que soplan del NW y los de “Tramontana” que soplan del N suelen tener una duración de 3 ó 4 días y su aparición está regida por las bajas presiones próximas al Mediterráneo y las altas presiones sobre la Península. Los vientos de “Levante” que son húmedos y templados de dirección NE-E-ESE son menos frecuentes pero bastante importantes. En cambio, el “Xaloc” que sopla del SE y el “Migjorn” son aires cargados de humedad por su procedencia marítima. Las condiciones del viento dominante quedarán patentes en la evolución de la pluma del río Ebro, trasladándola en una u otra dirección aunque éste sea débil (Sierra et al., 2002).

Como indica Dolz Ripollés et al. (1997), las corrientes marinas distribuyen el sedimento de origen fluvial a lo largo de la costa, mientras que la dinámica fluvial tiende a llevarlo mar adentro. Debido a esta interacción entre la dinámica fluvial y marina la desembocadura del Ebro evoluciona constantemente, y el principal reflejo de la acción dinámica litoral dominante a lo largo de la costa deltaica es la presencia de las dos “flechas” que cierran parcialmente las Bahías del Fangar y dels Alfacs. Dicha dinámica litoral está gobernada por las olas, que generan la corriente longitudinal que transporta el sedimento a lo largo de la costa. Como apunta Sánchez-Arcilla et al. (1997), unos 30000 m³/año de sedimento son eliminados y transportados a lo largo de la costa hacia las zonas de depósito que, dada la orientación de la actual desembocadura, se depositan en la “Flecha del Fangar”.

CAPÍTULO 3

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1.- Campañas de muestreo

En el marco del proyecto europeo PIONEER “Preparation and Integration of analysis tools towards Operational forecast of Nutrients in Estuaries of European Rivers” se realizaron varias campañas de muestreo durante los años 1999 y 2000 en el río Ebro y en su desembocadura. Esta tesis doctoral es el resultado de las campañas de muestreo realizadas en su desembocadura, por lo que solamente describiremos éstas. Estuvieron compuestas por 8 muestreos distribuidos a lo largo de las cuatro estaciones (primavera, verano, otoño e invierno). Las fechas en las que se realizaron fueron:

- Muestreo 1: 6 de abril de 1999
- Muestreo 2: 10 de julio de 1999
- Muestreo 3: 11 de julio de 1999
- Muestreo 4: 8 de octubre de 1999
- Muestreo 5: 9 de octubre de 1999
- Muestreo 6: 10 de octubre de 1999
- Muestreo 7: 1 de febrero de 2000
- Muestreo 8: 4 de febrero de 2000

3.2.- Planteamiento general de los muestreos

En los diferentes muestreos se intentó abarcar toda la extensión de la pluma. Para ello, los muestreos comenzaban en la zona más próxima a la desembocadura del río, y las siguientes estaciones de muestreo se iban escogiendo a partir de una previa toma de muestras superficiales y medida de la conductividad y de la temperatura *in situ*, con un Microprocessor Conductivity Meter WTW LF196, para determinar la ubicación de la pluma. Por ello, la situación de las estaciones de muestreo en cada campaña varió en función de la ubicación de la pluma. Estos

datos de conductividad y temperatura se anotaron en los muestreos 2, 3, 6, 7 y 8 para, como veremos posteriormente, intentar “dibujar” el contorno de la pluma.

En cada una de las estaciones seleccionadas se medía las coordenadas geográficas mediante un Posicionador GPS Magellan Nav 5000 y la profundidad de la columna de agua con una ecosonda de mano y/o un correntímetro doppler ADP (para profundidades menores a 20 m, debido a la longitud del cable de adquisición de datos). Incluso en algunas ocasiones se ha anotado la profundidad proveniente de las cartas náuticas. Además, para algunas de las estaciones de los diferentes muestreos, se poseen medidas de temperatura (°C), conductividad (S/m), salinidad (ppt, psu) y presión (db), que nos indica la profundidad a la que se ha realizado la medida, provenientes de un CTD Seabird.

3.2.1.- Toma de muestras para calidad del agua

En general, en cada una de las estaciones se tomó muestras a las siguientes profundidades: 0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00 y 5.0 metros. Pero en algunas variaron las profundidades de muestreo por diversas razones, que detallaremos en su momento. En total se recogieron 599 muestras en 67 estaciones entre todos los muestreos realizados. Las muestras de agua a profundidades mayores de 1.00 metros se tomaron mediante una manguera conectada a una bomba de vacío. Sin embargo, la toma de muestras a las profundidades de 0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75 y 1.00 metros, se realizó con un dispositivo que nos permitió tener la alta precisión en la capa superficial que deseábamos. Este dispositivo denominado SWAS (Superficial WATER Sampler) fue desarrollado por Jean Jaques Naudin del Laboratorio Aragón de Banyuls (Naudin et al., 2001) y se ha modificado conjuntamente entre el Laboratorio de Tecnologías del Medio Ambiente de la UPV y el LIM de la Universidad Politécnica de Cataluña.

El SWAS consta de una lámina de poliuretano protegida por dos láminas de plexiglás, de 0.25 cm x 100 cm x 50 cm que se mantiene constantemente en contacto con la lámina de agua, flotando por encima de ella. Posee 8 orificios de 8 mm de diámetro por los que se introducen 8 tubos de teflón PTFE® de diámetro interno 6 mm y externo 8 mm. Cada uno de estos tubos posee la longitud

necesaria para muestrear a las diferentes profundidades deseadas mediante un sistema de vacío. El extremo de los tubos de teflón que está sumergido en el agua, está tapado con un pequeño tapón, y posee un orificio en la parte lateral para que el bombeo de agua no se realice por el extremo y así evitar remolinos y otro tipo de corrientes no deseadas. En la figura 3.2.1 se observa un esquema de este dispositivo y en la figura 3.2.2 el proceso de toma de muestras.

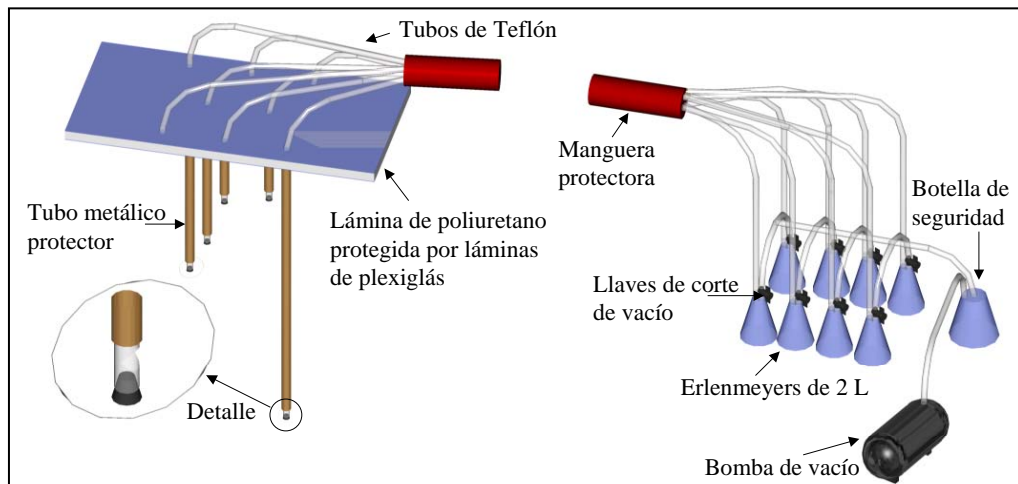


Figura 3.2.1. Dispositivo de muestreo (SWAS).

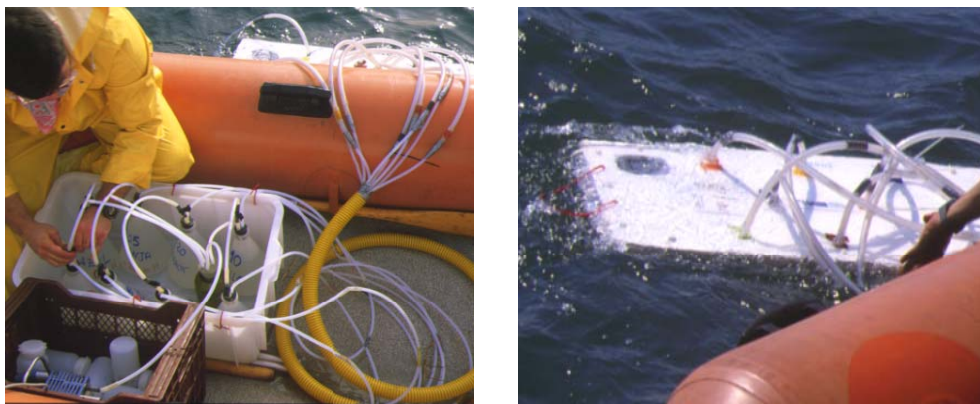


Figura 3.2.2. Toma de muestras con el SWAS.

3.2.2.- Datos hidrodinámicos

Todos los datos hidrodinámicos referentes a las campañas de muestreo han sido cedidos por el Laboratorio de Ingeniería Marítima de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Datos de descarga del río Ebro: Proviene de la estación de control de Tortosa (latitud 40°49'00'' N, longitud 0°31.5' E; UTM x 290973, UTM y 4521440), distante unos 45 km de la desembocadura del río. Son recogidos cada

hora y proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Nos proporciona el tiempo en horas (GMT) y el caudal en m³/s.

Datos meteorológicos: En el caso del muestreo 1 (6 de abril de 1999) los datos meteorológicos provienen de una estación meteorológica permanente, propiedad de la Universidad Politécnica de Cataluña y la Generalitat de Catalunya, localizada en Deltebre (Ecomuseu) (latitud 40°44'9.6'' N, longitud 0°45'0.0'' E; UTM x 309999, UTM y 4511846). En el caso de los muestreos posteriores, dependiendo de la disponibilidad, los datos meteorológicos provienen de las estaciones de Sant Carles de la Ràpita (latitud 40°36'57.6'' N, longitud 0°36'0.0'' E; UTM x 296951, UTM y 4499267) y/o de L'Ampolla (latitud 40°48'25'' N, longitud 0°42'0.0'' E; UTM x 306000, UTM y 4520000). Nos proporcionan velocidad del viento, velocidad máxima del viento, temperatura del aire y presión atmosférica, cada 10 minutos a lo largo de las campañas de muestreo. La localización de estas tres estaciones meteorológicas puede observarse en la figura 3.2.3.

Datos hidrológicos:

Corrientes: Los datos de corrientes proceden de un correntímetro doppler ADP que envía pulsos acústicos cada segundo y graba los perfiles cada 20 ó 2 segundos. En el primer caso (baja resolución) se obtienen datos de la media de 120-240 perfiles, y en el otro caso (alta resolución) de la media de 500-1000 perfiles. De estos hay que desechar los datos del 10% superior por no ser muy fiables debido a interferencias por el reflejo de la señal en la superficie. De esta manera se posee la velocidad de la corriente en cada estación de muestreo, la profundidad (metros), la velocidad escalar (m/s) y la dirección (grados).

Mareas y olas: Para el muestreo 1 (6 de abril de 1999) los datos provienen del correntímetro continuo S4DW, que mide cada minuto y promedia los datos cada 30 minutos. Se encontraba situado bastante cercano a la boca del río Ebro (Figura 3.2.3) (latitud 40°44'35.4'' N, longitud 00°52'6.3'' E; UTM x 319952, UTM y 4512075). Nos proporciona el nivel del agua (cm), las olas (cm) y las mareas (cm), como medidas de presión con referencia a la profundidad del dispositivo. Para el resto de muestreos, se poseen datos de mareas de una estación fija localizada en L'Ampolla (latitud 40°48'27.4" N, longitud 00°42'39.8" E; UTM

x 306539, UTM y 4519672) (Figura 3.2.3), que proporciona datos cada 10 minutos.

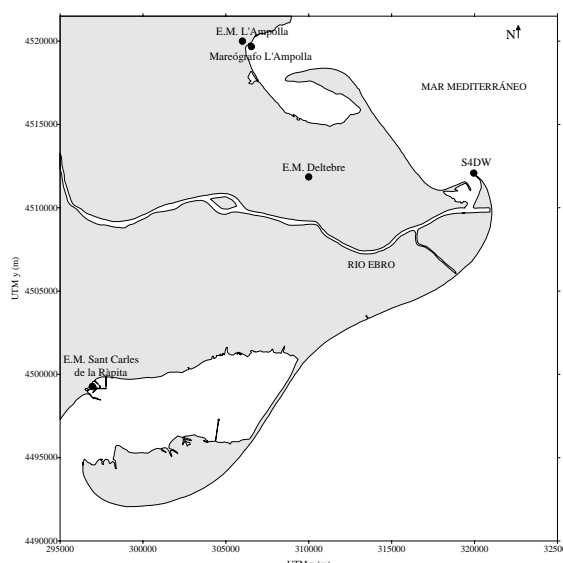


Figura 3.2.3. Situación de las distintas estaciones meteorológicas y mareógrafos.

3.3.- Situación de las estaciones y puntos de muestreo

3.3.1.- Muestreo 1: 6 de abril de 1999

No se disponen de los datos de conductividad y temperatura de la previa toma de muestras superficial realizada para escoger los puntos de muestreo. Sí se poseen datos del CTD Seabird para las 8 estaciones muestreadas. En la tabla 3.3.1 se especifica las coordenadas de cada estación, la hora (GMT) aproximada del muestreo y las profundidades de la columna de agua y de las muestras.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas		Fondo (m) ADP	Profundidades de muestras (m)
		UTM x	UTM y		
1M1	10:45	321273.7	4511857.0	10.8	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
1M2	11:30	322129.8	4511346.0	11.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
1M3	12:00	323077.7	4510638.0	9.3	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
1M4	12:40	319877.3	4512348.0	9.4	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
1M5	13:10	319168.3	4513204.0	10.4	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
1M6	13:45	318108.5	4513817.0	9.7	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
1M7	14:30	320505.9	4513591.0	14.3	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
1M8	15:08	320074.6	4511581.0	3.2	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00

Tabla 3.3.1. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 06/04/99.

En la figura 3.3.3 se muestra la ubicación de estas estaciones de muestreo.

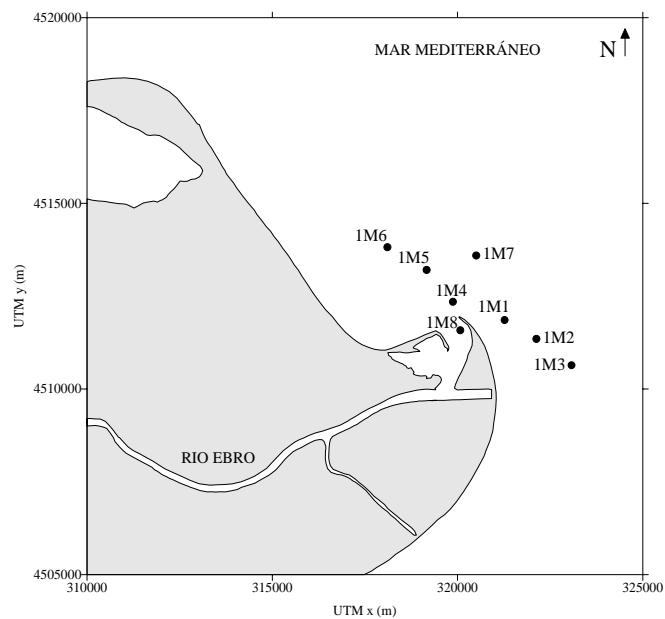


Figura 3.3.3. Ubicación de las estaciones de muestreo en la campaña del 06/04/99.

3.3.2.- Muestreo 2: 10 de julio de 1999

En este segundo muestreo, se disponen de los datos de conductividad y temperatura de la previa toma de muestras superficiales que se realizó para escoger los puntos de muestreo. También se poseen datos del CTD Seabird para las 7 estaciones muestreadas. En la tabla 3.3.2 se especifica las coordenadas de cada estación, la hora de muestreo (GMT) aproximada, la profundidad de la columna de agua y las profundidades de recogida de muestras.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas UTM x UTM y		Fondo (m) ADP y/o ecosonda	Profundidades de muestras (m)
2M1	9:15	320131.1	4511487.9	2.3/2.4	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00
2M2	10:30	319727.4	4513939.7	12.5/12.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
2M3	12:15	320388.3	4519124.3	-/36.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
2M4	14:15	320544.7	4514434.5	17.4/17.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
2M5	15:00	320804.6	4514182.0	18.2/18.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
2M6	16:15	320410.0	4514163.8	15.8/16.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
2M7	17:10	320260.7	4512882.5	11.5/11.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0

Tabla 3.3.2. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 10/07/99.

En la figura 3.3.4 se muestra la ubicación de estas estaciones de muestreo y del transecto previo del transecto previo.

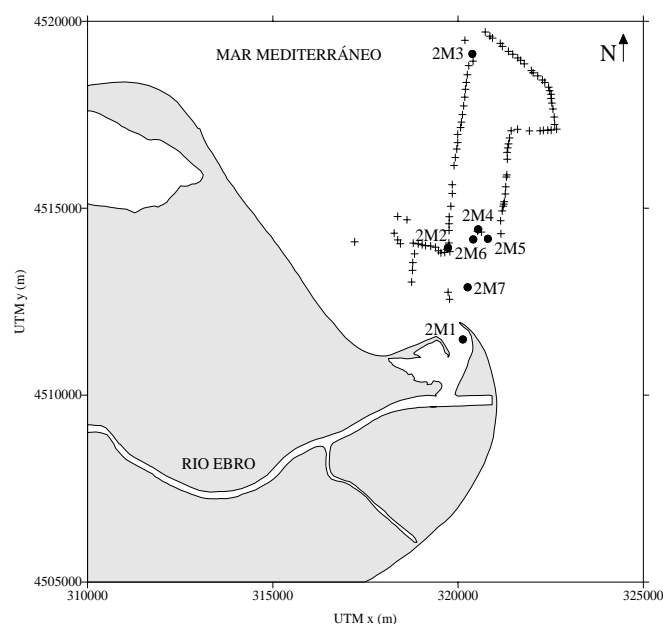


Figura 3.3.4. Ubicación de las estaciones de muestreo y del transecto previo en la campaña del 10/07/99.

3.3.3.- Muestreo 3: 11 de julio de 1999

Se dispone de los datos de conductividad y temperatura de la previa toma de muestras superficial y de los datos del CTD Seabird para las 7 estaciones muestreadas, cuyas coordenadas se muestran en la tabla 3.3.3.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas		Fondo (m) ADP y/o ecosonda	Profundidades de muestras (m)
		UTM x	UTM y		
3M1	7:30	319736.6	4512986.0	10.5/10.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
3M2	8:45	318515.3	4514230.3	-/10.7	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
3M3	9:45	314333.4	4517635.3	-/8.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
3M4	11:10	317698.9	4517608.9	12.5/12.6	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
3M5	12:00	319834.4	4517641.8	-/19.2	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
3M6	13:20	319324.9	4516023.1	14.0/14.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
3M7	14:20	319002.8	4513614.8	10.5/10.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0

Tabla 3.3.3. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 11/07/99.

En la figura 3.3.5 se muestra la ubicación de estas estaciones de muestreo y del transecto previo.

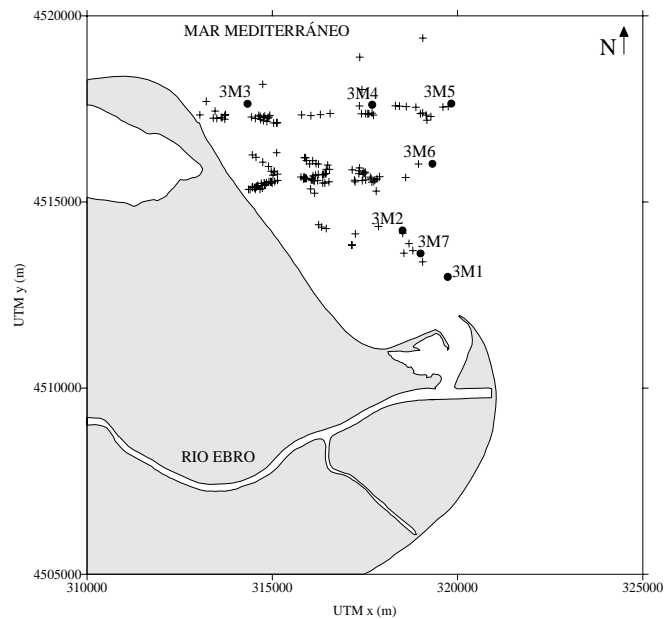


Figura 3.3.5. Ubicación de las estaciones de muestreo y del transecto previo en la campaña del 11/07/99.

3.3.4.- Muestreo 4: 8 de octubre de 1999

En este muestreo no se disponen de los datos de conductividad y temperatura de la previa toma de muestras superficiales que se realizó para escoger los puntos de muestreo. Se poseen datos del CTD Seabird para algunas de las estaciones. En la tabla 3.3.4 se especifica las coordenadas de las 7 estaciones muestreadas, la hora (GMT) aproximada en la que se llevó a cabo el muestreo, la profundidad de la columna de agua y las profundidades de recogida de muestras.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas UTM x UTM y		Fondo (m) ADP y/o carta	Profundidades de muestras (m)
4M1	9:30	319970.5	4511717.6	3.1	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 3.1
4M2	10:30	321659.0	4511717.5	13.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0, 12.5
4M3	11:15	320222.0	4512100.3	>20/32	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
4M4	12:00	319012.4	4513431.3	>20	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
4M5	13:15	317811.0	4515645.5	>20/<30	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
4M6	14:10	321538.4	4513551.5	-	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
4M7	14:45	323250.8	4512325.5	-	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0

Tabla 3.3.4. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 08/10/99.

La ubicación de las 7 estaciones se muestra en la figura 3.3.6.

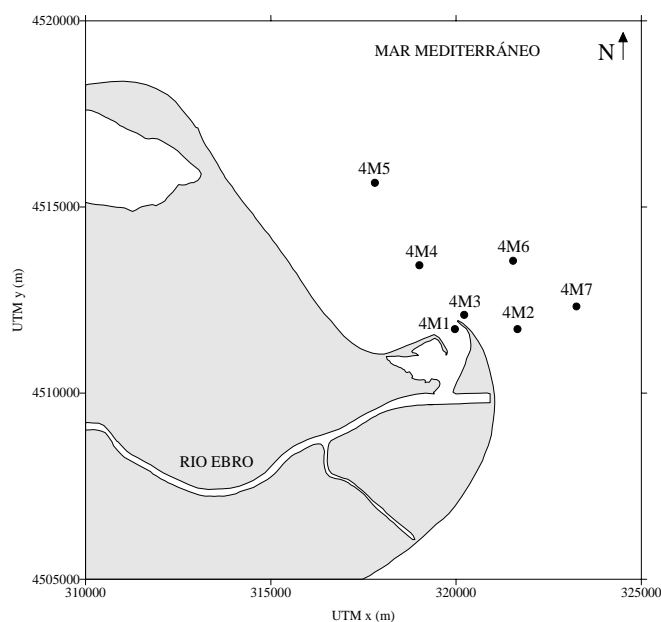


Figura 3.3.6. Ubicación de las estaciones de muestreo en la campaña del 08/10/99.

3.3.5.- Muestreo 5: 9 de octubre de 1999

En este muestreo no se disponen de los datos de conductividad y temperatura de la previa toma de muestras superficiales que se realizó para escoger los puntos de muestreo. Sí que se poseen los datos del CTD Seabird en las 8 estaciones muestreadas, cuyas coordenadas quedan especificadas en la tabla 3.3.5.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas		Fondo (m) ADP y/o ecosonda	Profundidades de muestras (m)
		UTM x	UTM y		
5M1	11:00	321314.5	4510339.1	5.7/5.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
5M2	11:40	320447.7	4511767.1	6.5/6.3	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
5M3	12:30	319864.2	4512038.7	2.2/2.3	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 2.0
5M4	13:20	319088.6	4512516.7	9.9/10.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
5M5	14:05	317568.4	4514370.3	10.2/10.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
5M6	15:20	316531.5	4516156.6	11.1/11.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
5M7	16:20	319337.7	4517989.0	-/20	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
5M8	17:05	320719.7	4515381.9	-/23.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0

Tabla 3.3.5. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 09/10/99.

En la figura 3.3.7 se muestra la ubicación de estas estaciones de muestreo.

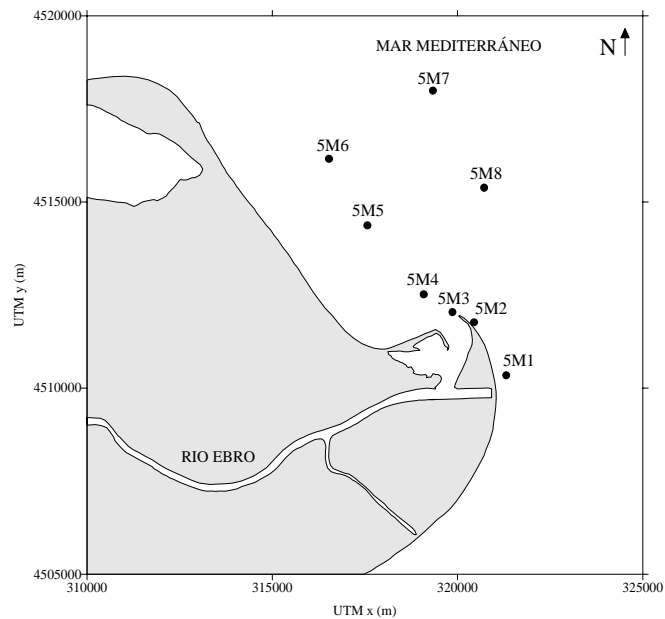


Figura 3.3.7. Ubicación de las estaciones de muestreo en la campaña del 09/10/99.

3.3.6.- Muestreo 6: 10 de octubre de 1999

En este muestreo se disponen de los datos de conductividad y temperatura de la toma previa de muestras superficiales. Los datos del CTD Seabird solamente están disponibles para algunas estaciones. En la tabla 3.3.6 se especifica los datos de cada una de las estaciones muestreadas.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas UTM x UTM y		Fondo (m) ADP y/o carta	Profundidades de muestras (m)
6M1	9:45	320018.4	4512067.0	3.1/-	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 2.0
6M2	10:40	321093.4	4512263.0	11/-	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
6M3	11:30	321406.3	4514144.0	-/23	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
6M4	12:05	321999.8	4515407.0	Carta \approx 30-35	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
6M5	12:30	322427.0	4516785.0	Carta \approx 44	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
6M6	14:20	324503.8	4506424.0	>20	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
6M7	14:50	323453.8	4512040.0	>20	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
6M8	16:10	319354.7	4514304.0	12.5/11-12	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0

Tabla 3.3.6. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 10/10/99.

En la figura 3.3.8 se muestra la ubicación de estas estaciones de muestreo y del transecto previo.

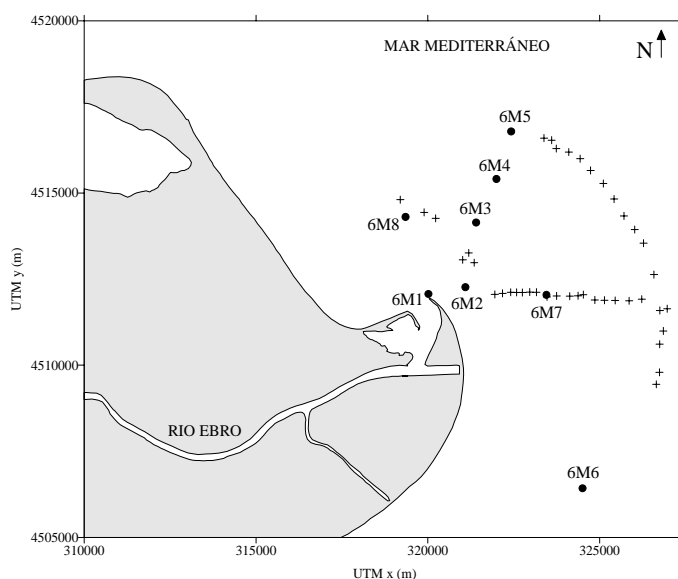


Figura 3.3.8. Ubicación de las estaciones de muestreo y del transecto previo en la campaña del 10/10/99.

3.3.7.- Muestreo 7: 1 de febrero de 2000

Se poseen los datos de conductividad y temperatura de la previa toma de muestras superficiales realizada para escoger las estaciones de muestreo. Se obtuvieron datos del CTD Seabird para algunas de las 11 estaciones muestreadas. Los datos de cada estación se especifican en la tabla 3.3.7.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas		Fondo (m) ecosonda	Profundidades de muestras (m)
		UTM x	UTM y		
7M1	11:05	319889.4	4511976.9	2.8	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00
7M2	11:50	319828.3	4513515.1	12.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M3	12:15	320242.7	4515504.6	17.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M4	12:40	321200.4	4517277.2	30.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M5	13:05	321792.4	4518484.9	47.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M6	13:30	324181.6	4518964.6	66.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M7	13:55	323681.9	4518069.3	60.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M8	14:30	322081.8	4516478.4	40.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M9	15:00	320843.9	4514175.5	12.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M10	15:30	322244.0	4512679.2	18.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
7M11	15:50	320608.4	4512589.0	12.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0

Tabla 3.3.7. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 01/02/00.

En la figura 3.3.9 se muestra la ubicación de estas estaciones de muestreo y del transecto previo.

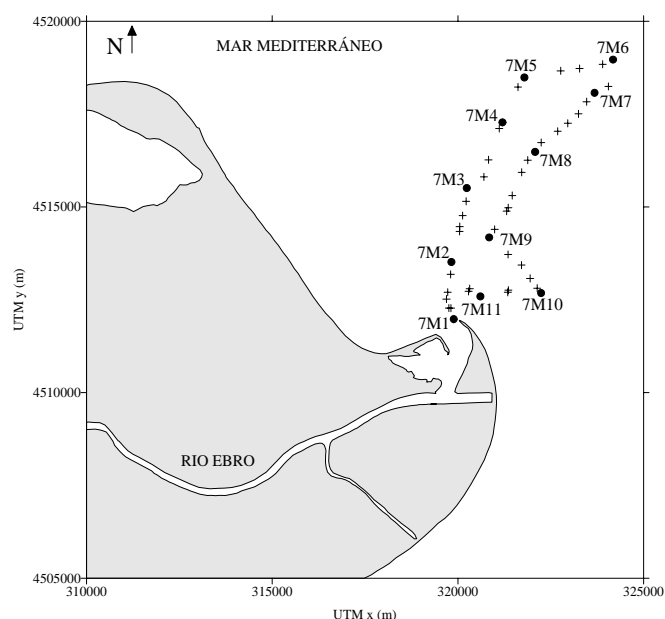


Figura 3.3.9. Ubicación de las estaciones de muestreo y del transecto previo en la campaña del 01/02/00.

3.3.8.- Muestreo 8: 4 de febrero de 2000

Se disponen de los datos de conductividad y temperatura de la toma previa de muestras superficiales y de los del CTD Seabird para todas las estaciones muestreadas, cuyas coordenadas se especifican en la tabla 3.3.8.

Estación	Hora de muestreo	Coordenadas UTM		Fondo (m) ecosonda	Profundidades de muestras (m)
		x	y		
8M1	9:30	319853.6	4511663.1	2.3	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00
8M2	10:05	319977.7	4513289.3	13.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 5.0
8M3	10:40	322294.3	4513603.6	26.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M4	11:15	323809.2	4513956.2	41.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M5	12:15	320509.6	4516646.0	21.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M6	12:45	320316.3	4515058.4	17.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M7	13:10	320354.5	4512450.6	12.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M8	13:40	317971.3	4512431.1	6.1	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M9	14:10	315925.2	4514911.1	7.5	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M10	14:55	317979.0	4519040.6	22.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0
8M11	15:15	318100.0	4517300.0	12.0	0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.75, 1.00, 5.0

Tabla 3.3.8. Coordenadas de las estaciones, hora de muestreo, fondo y profundidades de las muestras en la campaña del 04/02/00.

En la figura 3.3.10 se muestra la ubicación de estas estaciones de muestreo y del transecto previo.

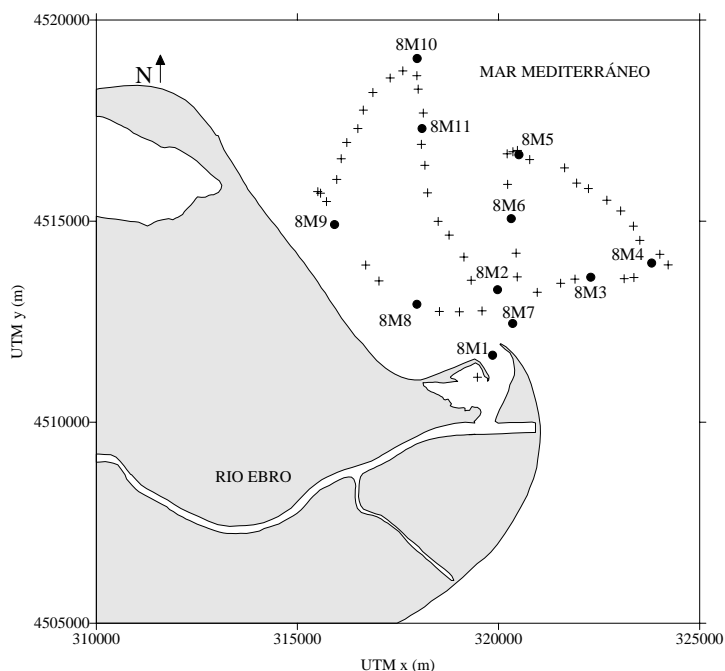


Figura 3.3.10. Ubicación de las estaciones de muestreo y del transecto previo en la campaña del 04/02/00.

3.4.- Parámetros físico-químicos

En cada una de las muestras de agua se analizaron varios parámetros físico-químicos. Estos parámetros, sus unidades y sus límites de detección se detallan en la tabla 3.4.1.

Parámetros	Unidades	Límites de detección
Salinidad	‰	2.85
Cloruros (*)	mg/L	0.44
Amonio	μmol/L	0.1
Nitrito	μmol/L	0.01
Nitrato+nitrito	μmol/L	0.1
Fósforo soluble reactivo	μmol/L	0.03
Fósforo disuelto total	μmol/L	0.03
Fósforo total	μmol/L	0.03
Ácido ortosilícico	μmol/L	0.1
Clorofila <i>a</i>	μg/L	0.20

Tabla 3.4.1. Parámetros medidos, unidades y límites de detección.

(*) Los cloruros no se midieron en todas las muestras, solamente en aquellas en las que la salinidad era menor de 5‰, por la razón que posteriormente comentaremos.

3.5.- Cadena de custodia

Las muestras de agua se recogieron en botellas de plástico de 2 litros y fueron mantenidas a baja temperatura hasta su llegada al laboratorio que nunca se realizó en un tiempo superior a 12 horas. En el laboratorio las muestras se subdividieron en distintas alícuotas para la determinación de los distintos parámetros, debido a la diferente manera de conservación de cada uno de ellos (APHA, 1998).

- Fósforo total. 100 mL de muestra se transvasaron a botellas de plástico y se conservaron en nevera.

- 800 mL de muestra se filtraron a través de filtros de acetato de celulosa de 0.45 μm (Millipore HAWP de 47 mm de diámetro). Del filtrado se tomaron distintas alícuotas que se utilizaron para:

- Nitritos y amonio. Se determinaron inmediatamente.
- Ácido ortosilícico, fósforo soluble reactivo y fósforo disuelto total. 100 mL del filtrado se guardaron congelados a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis posterior.
- Nitratos. Se trasvasó 100 mL del filtrado a botellas de plástico que contenían la cantidad necesaria de ácido sulfúrico concentrado para alcanzar un pH de 1.5-2 y se conservó en nevera hasta su posterior determinación.

- Clorofilas. 800 mL de muestra fueron filtrados a través de filtros de acetato de celulosa de 0.45 μm (Millipore HAWP de 47 mm de diámetro) y estos filtros se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su posterior análisis.

- Salinidad. Se determinó del filtrado obtenido.

3.6.- Métodos analíticos

Los análisis de nutrientes fueron hechos con un autoanalizador de flujo continuo segmentado por aire, Alliance Instruments Evollution II. Los métodos usados son los descritos por Treguer y Le Corre (1975), teniendo en cuenta las

consideraciones hechas por Kirkwood et al. (1991) y Parsons et al. (1984). La optimización del equipo se llevó a cabo siguiendo las teorías de Coakley (1981).

Para todos los métodos se utilizan reactivos de alta pureza Merck para análisis. Del mismo modo, se utiliza agua milli-Q obtenida con un equipo de purificación de agua Milli-Q 185 Plus, para obtención de agua ultrapura, equipado con cámara de fotooxidación ultravioleta (UV) de Millipore.

Con el fin de verificar y validar los resultados analíticos de los distintos nutrientes, se participó en los ejercicios de calibración interlaboratorios "The Quasimeme II International Laboratory Performance Studies" para aguas estuarinas. El "Quasimeme LPS" tiene el apoyo de diversas comisiones y programas europeos (HELCOM, OSPAR, MEDPOL, AMAP, ICES y EAL). En estos ejercicios se analizó muestras de agua estuarina dos veces al año (cada 6 meses). Incluía la determinación, en dos rangos diferentes de concentraciones, de nitrato + nitrito, nitrito, amonio, silicato, fosfato y fósforo total. Todos los resultados obtenidos fueron aceptables, entrando a formar parte de la base de datos de Quasimeme LPS.

a) Salinidad:

Como se apunta en Aminot (1983) la salinidad puede definirse como el peso en gramos de materia inorgánica disuelta en 1 kg de agua de mar, después de que todo el bromuro y yoduro ha sido reemplazado por la cantidad equivalente de cloruro, todo el carbonato convertido a óxido y toda la materia orgánica oxidada. Pero la salinidad debe medirse por métodos indirectos que involucran la medida de parámetros físicos como conductividad, densidad, velocidad del sonido o índice de refracción. Como se apunta en APHA (1998), el método que proporciona mayor precisión es la medida de la conductividad. Por ello, la salinidad ha sido medida con un conductímetro de inducción Grundy Environmental Systems Incorporation, 6230 N, calibrado con los patrones adecuados (I.A.P.S.O. Standard Seawater, Ocean Scientific International, Ltd, $K_{15} = 0.99986$, $S = 34.995\text{‰}$). A partir de los datos de conductividad relativa obtenidos con el equipo, se obtuvieron los datos de salinidad empleando las International Oceanographic Tables, editadas por la Unesco (Anónimo, 1966).

b) Cloruros:

El ion cloruro reacciona con el tiocianato de mercurio formando cloruro de mercurio. El ion tiocianato liberado, en presencia de ion férrico, forma un complejo de fuerte color rojo que es proporcional a la concentración inicial de cloruro (APHA, 1998).

c) Clorinidad:

La clorinidad, como se apunta en Riley y Chester (1971), se ha definido como la masa en gramos de plata pura necesaria para precipitar los halógenos en 328.5233 gramos de agua de mar, siendo por lo tanto una medida de la concentración de cloruros y bromuros. Pero considerando la composición media del agua de mar (cloruro 19.344, sodio 10.773, sulfato 2.721, magnesio 1.294, calcio 0.412, potasio 0.399, bicarbonato 0.142, bromuro 0.0674, estroncio 0.0079, boro 0.00445 y fluoruro 0.00128 g/kg a salinidad 35‰) (Riley y Chester, 1971), puede observarse que la concentración de bromuro es despreciable frente a la de cloruro. Por todo ello, una buena aproximación y sin cometer un error apreciable, es asimilar la clorinidad a la concentración de cloruros.

Pero además la clorinidad se puede relacionar con la salinidad mediante la ecuación lineal

$$\text{Salinidad (‰)} = 1.80655 \times \text{Clorinidad (‰)}$$

obtenida por Wooster et al. (1969) como se apunta en Aminot (1983) y en Riley y Chester (1971).

En nuestro caso, la existencia de muestras de agua dulce cuya salinidad no pudo medirse debido al límite de detección del método (2.85‰), nos lleva a utilizar en este estudio valores de clorinidad y no de salinidad. Por lo tanto, cuando obtenemos valores de salinidad mayores a 5‰, los transformamos a clorinidad mediante la ecuación anterior, ya que a esta salinidad las sales de agua de mar contribuyen con un 98% del material disuelto y por lo tanto, en términos generales, las características de la composición del agua de mar se vuelven dominantes (Burton, 1976). En cambio, en las muestras con valores de salinidad menores de 5‰, se miden las concentraciones de cloruros, que podemos asimilar a la clorinidad.

d) Amonio:

Su determinación se basa en la reacción de Berthelot. En medio alcalino el amonio disuelto reacciona con el hipoclorito formando una monocloramina. Este compuesto, en presencia de fenol, y un exceso de hipoclorito da lugar a la formación de azul de indofenol. El ion nitroprusiato cataliza la reacción. La adición de citrato trisódico elimina la interferencia de Ca y Mg (Solòrzano, 1969).

e) Nitrito:

Para la determinación de nitritos se ha utilizado el método de análisis en aguas de Shinn (1941) adaptado para el agua de mar por Bendschneider y Robinson (1952) que se basa en la reacción del ion nitrito con la sulfanilamida, en medio ácido, produciéndose un diazocompuesto que forma un complejo de color rosado con la N-naftiletilendiamina.

f) Nitrato:

La determinación de los nitratos se basa, en la reducción de éstos a nitritos mediante una columna reductora de Cu/Cd en medio básico (pH = 8.5). El método seguido es el descrito por Grasshoff (1976). Posteriormente el ion nitrito reacciona con la sulfanilamida, en medio ácido, produciéndose un diazocompuesto que forma un complejo de color rosado con la N-naftiletilendiamina. La formación del complejo es proporcional a la concentración de nitrito.

g) Fósforo soluble reactivo (PSR):

Se midió siguiendo el método de Murphy y Riley (1962) que consiste en provocar la formación de un complejo fosfomolibdico de color azul mediante la adición de molibdato amónico en medio ácido. El molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan con el ortofosfato en un medio ácido para formar un complejo de fosfomolibdato de antimonio, el cual es reducido a azul de molibdeno por el ácido ascórbico (APHA, 1998). Pero el molibdeno cataliza también la hidrólisis de los ésteres fosfóricos presentes en el medio, como se demuestra en los estudios de Tarapchak (1983), que, al ser medidos conjuntamente con el ortofosfato, dan lugar a una sobrevaloración sistemática. Sin embargo, no es posible introducir factores de corrección porque la capacidad de

hidrolización varía con el tipo de moléculas orgánicas presentes en la muestra. Por lo tanto, el fósforo que reacciona con este método es un compartimiento químico heterogéneo en el que se incluyen tanto fracciones minerales como orgánicas previamente hidrolizadas en proporciones difíciles de evaluar. Por este motivo se aplica el término “fósforo soluble reactivo” (PSR), introducido por Strickland y Parsons (1965), para designar el fósforo que reacciona con el método del molibdato.

h) Fósforo total:

El análisis de este parámetro necesita una digestión previa de la muestra, con el fin de transformar todo el fósforo presente a ortofosfato, que posteriormente se determina. La elección de un adecuado método de digestión implicó la realización de diversas pruebas analíticas que comparaba 4 técnicas de digestión. Entre ellas se escogió el método de digestión ácida con persulfato, donde la muestra es mezclada con persulfato de amonio o persulfato de potasio y ácido sulfúrico y digerido por calentamiento (APHA, 1998; Rodier, 1981). Así todo el fósforo se transforma a ortofosfato que es analizado por el mismo método utilizado para el PSR. Este método de digestión fue el que aportó los mayores porcentajes de recuperación de los compuestos fosforados y la menor contaminación de blancos (Romero et al., 2000). Además su eficacia se comprobó participando en los ejercicios de calibración interlaboratorios “The Quasimeme II International Laboratory Performance Studies”, obteniendo porcentajes de recuperación próximos al 100%. Sin embargo este método presenta una serie de problemas, como por ejemplo que no siempre los valores de fósforo disuelto total, que también son analizados, son mayores o iguales que los de PSR, y que los de PT no siempre son mayores o iguales que los de PDT. Esto probablemente sea debido a la importante manipulación que sufren las muestras en el proceso de digestión donde se multiplican las posibles contaminaciones o pérdidas del analito a determinar. Debido a esto se presentará para cada día de muestreo los datos conflictivos y se decidirá si se trabaja con ellos o son descartados.

i) Fósforo disuelto total:

Se realiza sobre una muestra filtrada y se procede como en la determinación de fósforo total.

j) Ácido ortosilícico:

Se ha utilizado el método descrito por Strickland y Parsons (1972) que sigue el método de valoración del ácido ortosilícico en agua de mar de Mullin y Riley (1955). El método recurre a la formación a pH 1-2 de un complejo entre el molibdato amónico y las formas monómera o dímera del ácido ortosilícico. La reducción de este último con metanol formando un complejo azul es susceptible de determinación colorimétrica.

k) Clorofila *a*:

Se utilizó el método tricromático basado en espectroscopía visible para determinar la concentración de clorofila *a* (APHA, 1998). Para ello, las membranas de acetato de celulosa empleadas para filtrar las muestras se congelan con la finalidad de romper las células. Posteriormente los filtros se introducen en 6 mL de acetona al 90% en agua con el 1% en carbonato cálcico. Se determinó la densidad óptica del extracto a distintas longitudes de onda: 630, 647 y 664 nm, para determinar el contenido pigmentario, y a 750 nm para corregir la turbidez. Para los cálculos de la concentración se utilizaron las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey (1975).

l) Nitrógeno inorgánico disuelto (NID):

Se obtuvo sumando las concentraciones de amonio, nitrito y nitrato.

m) Relaciones atómicas N/P y N/Si:

Se obtuvieron dividiendo la concentración de NID por la de PSR y ácido ortosilícico, respectivamente.

3.7.- Tratamiento estadístico

Debido al gran número de parámetros o variables observadas o medidas en cada una de las 599 muestras recogidas en los muestreos realizados (profundidad, utmx, utmy, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, NID, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico, clorofila *a*, NID/PSR y NID/ácido ortosilícico) se hace necesario intentar reducir al máximo las variables.

Para ello una de las herramientas estadísticas multivariantes de las que se dispone es el Análisis Factorial, que permite expresar una serie de variables observadas en función de un número menor de factores, analizando para ello la correlación existente entre las variables (Álvarez, 2000). Como se detalla en Johnson (2000), el análisis factorial crea nuevas variables que resumen toda la información de la que podría disponerse en las variables originales.

Como se apunta en Bisquerra Alzina (1989) la mayoría de los análisis multivariantes, con variables continuas, se basan en el cumplimiento de los supuestos paramétricos, que son:

- Las variables siguen una distribución normal multivariable.
- Las muestras presentan homoscedasticidad multivariable.
- Existe independencia entre observaciones.
- Las muestras son grandes (mayor de 30).

Al trabajar con datos reales normalmente los dos primeros supuestos no se cumplen (normalidad y homoscedasticidad), aunque como apunta Bisquerra Alzina (1989) el análisis no queda invalidado ya que los análisis multivariantes suelen ser lo suficientemente robustos como para no verse muy afectados cuando el número de muestras es mayor de 30.

El Análisis Factorial incluye un número de pasos a seguir:

- La primera decisión es saber si los datos son o no apropiados para el análisis factorial, para poder incluir todas las variables en el tratamiento estadístico o eliminar alguna de ellas. Para que este tratamiento estadístico tenga éxito, las variables deben estar algo correlacionadas entre ellas. Si las correlaciones observadas entre las variables son muy bajas, es muy probable que éstas sean ya casi independientes entre sí, con lo que no tenga sentido realizar este tratamiento estadístico. Con este objetivo se utiliza la medida de adecuación muestral para cada variable individual, examinando la matriz de correlación anti-imagen, donde se comprueba tanto que las variables estudiadas están algo relacionadas entre ellas como la existencia de variables totalmente independientes que deben ser eliminadas del tratamiento posterior. Como se indica en García et al. (2000) es necesario eliminar las variables que tengan valores pequeños en su

medida de adecuación muestral. Como norma general además se ha de eliminar aquellas variables que son combinación lineal de otras, como por ejemplo el NID y las relaciones NID/PSR y NID/ácido ortosilícico para nuestro caso de estudio.

- En segundo lugar, y una vez eliminadas las variables necesarias se debe verificar la calidad del análisis factorial realizado, observando el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), medida popular de la homogenización de variables. Como se detalla en Sharma (1996) los valores de este índice, mostrados en la tabla 3.7.1, nos indican la calidad del análisis:

Medida KMO	Recomendación	
≥ 0.90	Maravilloso	Tolerable
0.89-0.80	Meritorio	
0.79-0.70	Medio	
0.69-0.60	Mediocre	
0.59-0.50	Miserable	Intolerable
< 0.50	Inaceptable	

Tabla 3.7.1. Índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

- A continuación debe extraerse los factores o componentes que representen a las variables originales. Uno de los métodos de extracción más utilizados es el de Componentes Principales, técnica estadística que transforma un conjunto de variables intercorrelacionadas en otro conjunto de variables (llamadas factores) no correlacionadas, siendo estos factores una combinación lineal de las variables originales. Uno de los criterios más utilizados para escoger un número de factores es el criterio o regla de Kaiser (Ferrán, 2001), que indica que entre todos se deben elegir aquellos cuyos autovalores (parte de la variabilidad total explicada por el factor) sean mayores que 1, con lo que aseguramos que cada uno de ellos explica más varianza que una sola de las variables originales.

- Como se explica en Johnson (2000), cuando se obtiene un conjunto de componentes o factores, éstos no siempre se interpretan con facilidad. Por ello se usa la rotación de los factores. Entre todos los métodos de rotación el más utilizado es el denominado Varimax, que maximiza la varianza de los factores y cuyo principal objetivo es hacer que el peso de una variable recaiga principalmente en uno sólo de los factores. Es un método de rotación ortogonal

que mantiene la misma varianza total explicada pero modifica la explicada por cada factor (Álvarez, 2000).

En nuestro caso se ha aplicado el análisis factorial empleando el programa estadístico SPSS v.9.0 al conjunto de los datos que poseemos. Las variables utilizadas en este tratamiento estadístico han sido: clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*. Se han eliminado las que son combinación lineal de éstas (NID, NID/PSR y NID/ácido ortosilícico) y las que el análisis factorial nos indica que son bastante independientes (profundidad, utmx y utmy). Con este conjunto de 9 variables se realiza el análisis para cada día de muestreo y para todo el conjunto completo. Como se verá posteriormente, en algunos casos y cuando nos lo indique el análisis estadístico, se eliminará alguna otra de estas 9 variables.

3.8.- Otras consideraciones

- Para estudiar las distribuciones espaciales (verticales y horizontales) de los diferentes parámetros estudiados, utilizaremos el método de triangulación con interpolación lineal que reduce el problema de las discontinuidades entre datos adyacentes. Para ello se realiza un ajuste a un plano entre los tres datos que rodean al punto que se desea estimar. Este método nos ha permitido elaborar las gráficas de isolíneas que reflejan esta distribución espacial mediante el programa Surfer (Win 32) Versión 6.01.

- Para estudiar el comportamiento de los diferentes nutrientes en el proceso de mezcla, ya comentamos en el apartado 1.5 que vamos a utilizar el método de las “curvas de mezcla”, en las que representaremos la concentración de cada nutriente en función de la clorinidad. Se compararán estos resultados con la distribución que tendría ese nutriente en una mezcla ideal, es decir, si se comportara de manera conservativa, lo que quedará representado en dichos gráficos con una línea discontinua. La elección de la línea de mezcla ideal resulta bastante problemática, ya que se necesita definir adecuadamente la concentración del nutriente en el agua dulce y en el agua salina. En nuestro caso, escoger el punto correspondiente a la parte más salina no conlleva grandes problemas, debido a la existencia de multitud de muestras en las que las concentraciones de

nutrientes son muy similares y generalmente puede asimilarse a los límites de detección de los métodos analíticos. Pero, como queda patente en multitud de estudios realizados (Kress y Herut, 1998; Sanders et al., 1997) el problema principal recae en la elección del punto más dulce. La solución pasa por diversas alternativas:

1.- Una de ellas es escoger entre todas las muestras disponibles la más dulce (figura 3.8.1.a), pero evidentemente le estamos dando un gran peso a ésta, y por lo tanto nos encontraremos con situaciones problemáticas cuando este valor no esté muy bien definido (figura 3.8.1.b).

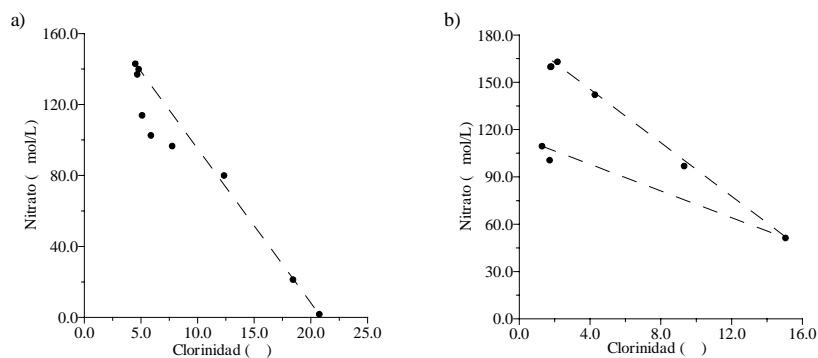


Figura 3.8.1. Diferente comportamiento del nutriente en el proceso de mezcla dependiendo de la elección del miembro más dulce.

2.- Otra posible solución implicaría una extrapolación de los puntos más salinos, de la estación más cercana a la boca del río, hasta una clorinidad cero (figura 3.8.2.a), y utilizar este valor como la muestra más dulce para el resto de estaciones. Pero el inconveniente surgirá cuando estos puntos no sigan una tendencia lineal (figura 3.8.2.b).

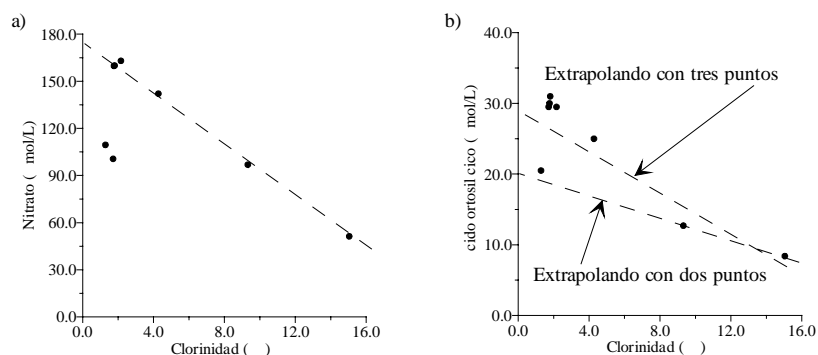


Figura 3.8.2. Diferente comportamiento del nutriente en el proceso de mezcla dependiendo de la elección de los puntos de extrapolación.

3.- Otra alternativa sería escoger un valor de la concentración del nutriente de la bibliografía existente sobre la zona de estudio, pudiendo ser un valor puntual

o un valor medio mensual o anual (Kress y Herut, 1998; Lohrenz et al., 1999; López-Veneroni y Cifuentes, 1994; Magnien et al., 1992). En nuestro caso particular, debido a la gran variación de las concentraciones a lo largo del río, los datos mensuales pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Ebro medidos en Tortosa, no nos son de utilidad. Se necesitaría datos de nutrientes en algún punto cercano a la desembocadura del río Ebro durante los días de nuestras campañas de muestreo. Datos que poseemos, debido a que dentro de las 4 campañas de muestreo se realizaron muestreos a lo largo del río y de su cuña salina, resultados que han sido objeto de otra tesis doctoral (Falco, 2003). En estas campañas en el río se escogieron varias estaciones de muestreo a lo largo de los últimos 18 km del estuario, algunas de las cuales se observan en la figura 3.8.3, recogiendo muestras de agua a diversas profundidades. El único inconveniente es que los días de muestreo en la pluma no coinciden con los de río, como se observa en la tabla 3.8.1.

Muestreos en pluma	Muestreos en río
06/04/99	03/04/99, 04/04/99, 05/04/99, 07/04/99
10/07/99 11/07/99	07/07/99, 08/07/99, 12/07/99
08/10/99 09/10/99 10/10/99	05/10/99, 06/10/99, 07/10/99
01/02/00 04/02/00	03/02/00, 05/02/00

Tabla 3.8.1. Muestreos realizados en la pluma y el estuario del río Ebro.

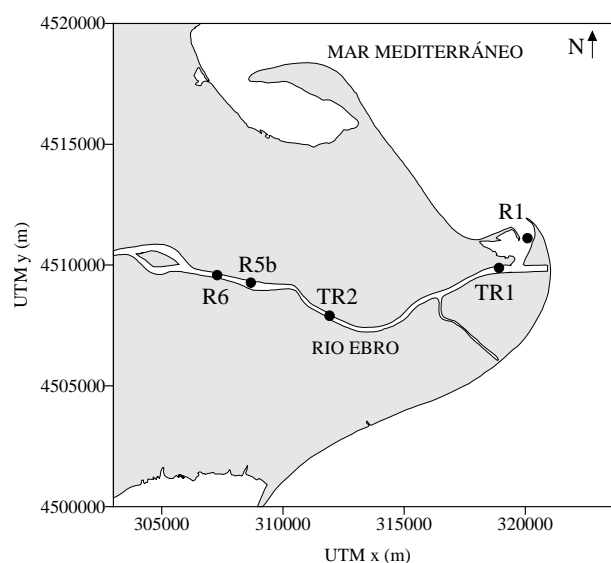


Figura 3.8.3. Estaciones de muestreo en el río durante las campañas PIONEER.

Tras el análisis de las diferentes gráficas nutrientes/clorinidad que utilizamos para analizar el comportamiento de los distintos nutrientes y sus

formas en la mezcla, se ha decidido utilizar como valor de referencia la concentración fluvial en los muestreos realizados en la misma campaña. Aunque indudablemente este valor no es exacto, la inercia mostrada por las concentraciones fluviales es mucho mayor que la de cualquier punto de la pluma con influencia continental. Lo cual era de esperar ya que nos enfrentamos a un sistema oligotrófico del litoral mediterráneo cuya principal fuente de nutrientes es el aporte fluvial, por lo que sólo cabe esperar una rápida e intensa utilización de los mismos. Utilización que se reflejará en un descenso brusco de las concentraciones esperadas hasta en los puntos de salinidad más baja. Ésta es la razón por la que hemos decidido prescindir de los valores de los diferentes nutrientes en los puntos superficiales de la pluma. De otra manera habríamos llegado a considerar como ganancias en la mezcla a los valores correspondientes a los puntos subsuperficiales de las estaciones con un valor más reducido en superficie cuando en realidad es simplemente un punto con menor pérdida a nuestro entender.

Además, para poder aplicar el método de curvas de mezcla se ha de cumplir un requisito indispensable, y es que debe asumirse el estado estacionario en las concentraciones de los nutrientes durante el periodo de recolección de las muestras (Loder y Reichard, 1981; Morris et al., 1995; Naudin et al., 2001; Sanders et al., 1997). Para ello todas las muestras deben haber sido recogidas en un intervalo horario menor al tiempo de residencia, es decir, al tiempo requerido para que el flujo del río reemplace el agua dulce existente en el estuario. Este tiempo de residencia ha sido calculado mediante el método de la fracción de agua dulce a partir de las ecuaciones de balance de sal (fórmula de Knudsen) (Asselin y Spaulding, 1993; Dyer, 1997; Regnier et al., 1997) al ser la fórmula más apropiada para estuarios altamente estratificados y con cuña salina. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$t_r = \frac{V}{Q} * \left(1 - \frac{S_{sup}}{S_{fond}} \right)$$

donde t_r es el tiempo de residencia (horas), V el volumen del estuario (m^3), Q el caudal del río (m^3/h), S_{sup} la salinidad superficial (‰) y S_{fond} la del fondo (‰).

Para poder aplicarla se ha debido recalcular los datos de descarga del río Ebro a su paso por Tortosa para poder ser utilizados en nuestra zona de estudio (Falco, 2003). También se ha necesitado de los datos batimétricos y las dimensiones del álveo en los últimos kilómetros del estuario para poder calcular el volumen del estuario. Del mismo modo se han utilizado los datos de salinidad obtenidos en las diversas estaciones muestreadas a lo largo del río. Con todo ello se ha podido calcular de manera aproximada el tiempo de residencia del agua dulce en el estuario, resultados que se muestran en la tabla 3.8.2 en función del caudal del río.

Fecha	Caudal (m ³ /s)	t _r (horas)
03/04/99	270	22.0
05/04/99	250	19.8
07/04/99	250	19.4
07/07/99	250	23.7
08/07/99	200	29.6
12/07/99	150	39.2
05/10/99	400	11.3
06/10/99	350	16.4
03/02/00 (sin cuña)	500	12.1
05/02/00	450	11.1

Tabla 3.8.2. Tiempo de residencia (horas) para diversos caudales del río Ebro.

Estos resultados obtenidos nos ratifican la asunción del estado estacionario en las concentraciones de los nutrientes durante el periodo de recolección de las muestras, debido a que todas las campañas se realizaron en un tiempo que nunca fue superior a 10 horas, tiempo inferior al menor tiempo de residencia encontrado para el máximo caudal de 450 m³/s.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Muestreo 1 (6 abril 1999)

4.1.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

Este muestreo fue realizado el 6 de abril de 1999, recogándose en total 71 muestras de agua repartidas entre 8 estaciones. Las observaciones de campo nos muestran que durante las horas de muestreo (10:45-15:08 GMT, aproximadamente) las condiciones meteorológicas prácticamente no variaron, si exceptuamos el viento. El día fue soleado con algunas pequeñas nubes. Solamente la visibilidad varió a lo largo del día, pasando de una visibilidad escasa, debido a la neblina existente, a una buena visibilidad y tiempo despejado aproximadamente a las 15:00 h. La temperatura máxima ambiental en esta zona estuvo comprendida entre los 23 y 24°C según los datos de información meteorológica de la Generalitat de Catalunya.

En la figura 4.1.1 se ha representado los datos meteorológicos provenientes de la estación de Deltebre para las horas en las que se llevó a cabo el muestreo. Podemos observar la alta dispersión en la dirección del viento, oscilando entre 11.4-203.4 grados, con un promedio de 141.4 grados. La velocidad media fue de 2.19 m/s, con un rango de 0.82-3.73 m/s. Durante las primeras horas de muestreo el viento varió bastante de dirección, soplando del este durante el muestreo en la estación 1M1, del norte durante el muestreo en 1M2 y del sudeste durante el muestreo en 1M3. En las horas posteriores y coincidiendo con los muestreos realizados en las estaciones 1M4, 1M5, 1M6, 1M7 y 1M8, la dirección se

mantuvo constante de dirección sur. En general, podemos considerar que la velocidad del viento fue reducida durante todo el muestreo, con un aumento casi constante desde la estación 1M2 a 1M8.

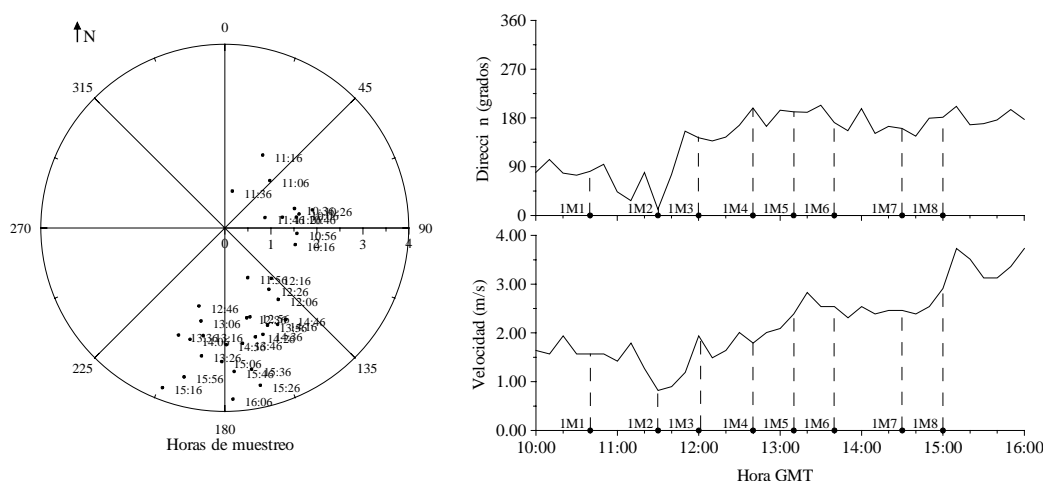


Figura 4.1.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 1.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar, debida a las mareas astronómicas y meteorológicas y al oleaje, ha sido medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla. Para este primer muestreo también se poseen datos del S4DW que estaba localizado en las cercanías de la desembocadura del río Ebro. En la figura 4.1.2 podemos observar los datos de la estación fija de L'Ampolla (cada 10 minutos), y los proporcionados por el S4DW (cada 30 minutos).

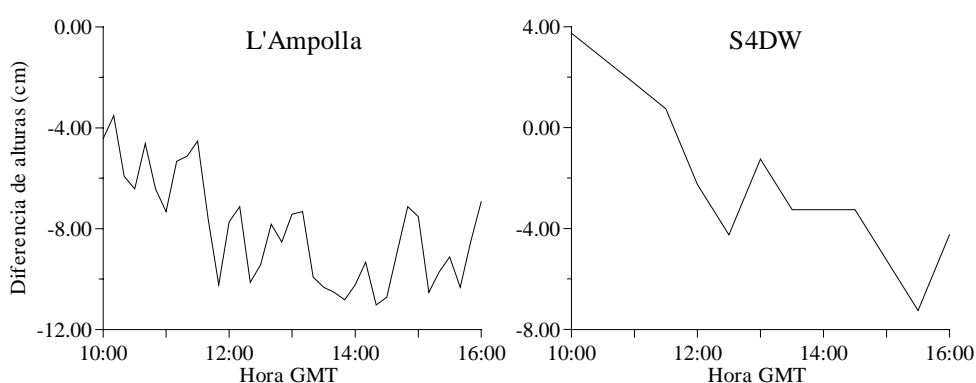


Figura 4.1.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 1.

Como podemos comprobar, la estación de L'Ampolla y el S4DW nos dan resultados similares, siendo en ambos casos la máxima diferencia del nivel del mar inferior a 15 cm (L'Ampolla 7.5 cm y S4DW 11.0 cm). Por tanto, y como se detalla en Cacchione et al. (1990), Davies y Xing (1999), Díaz et al. (1990) y

Palanques y Drake (1990), podemos considerar que las corrientes mareales y el oleaje no tienen una importancia destacable en nuestra zona de estudio, al no superarse una diferencia de altura en la columna de agua de 20 cm.

b.2) Caudales del río Ebro

Al no existir estaciones de aforo en el curso del río Ebro aguas abajo de la estación de Tortosa (distante unos 40 km de la desembocadura), los únicos datos de caudal de los que disponemos son los que provienen de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en ésta. En la figura 4.1.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) disponible para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo.

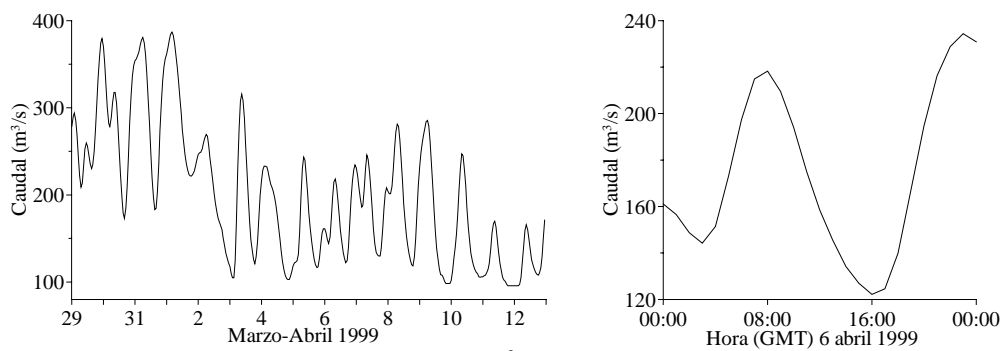


Figura 4.1.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 1.

Como se puede apreciar en la figura anterior, las variaciones del caudal son significativas en lapsos de tiempo reducidos (inferior a la hora). Estas variaciones están determinadas por las necesidades energéticas que condicionan el funcionamiento de la central hidroeléctrica de Mequinenza (Muñoz, 1989). Así, los caudales máximos horarios se localizan en las horas que se corresponden con la necesidad de un mayor gasto hidroeléctrico, es decir, a primeras horas de la mañana y de la noche.

Hay que tener presente que esos hidrogramas variarán desde Tortosa hasta la desembocadura, y lo harán dependiendo de las características morfológicas del cauce y de las salidas y entradas de agua al mismo (riego, aportes subterráneos, retornos de riego,...). Pero además de esta variación algo complicada de estimar, también hay que tener en cuenta el tiempo de viaje de la onda del caudal entre Tortosa y la desembocadura (aproximadamente 40 km). La Confederación Hidrográfica del Ebro ha realizado unas mediciones del tiempo de tránsito de

caudales picos de crecida entre las estaciones de aforo de Ascó y de Tortosa, un tramo que posee 62 km de longitud y una pendiente media de 0.0005, no existiendo datos ni mediciones aguas abajo de la estación de Tortosa. Para un caudal cercano a 2500 m³/s en Ascó se registraron tiempos entre 8 y 12 horas de llegada a Tortosa, apreciándose que el tránsito es más corto cuanto mayor es el gradiente de las ramas del hidrograma, es decir, cuanto más súbita es la crecida. Para caudales de 1500 m³/s se observaron tiempos cercanos a 15 horas. No se realizaron mediciones para caudales menores al no considerarse crecidas y ser más difícil su medición. Con todo ello, es de suponer que para los caudales habituales del río Ebro en ese tramo (entre 200 y 500 m³/s) el tiempo de tránsito será mayor. De esta información proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se puede deducir que para los caudales registrados en Tortosa, inferiores a 500 m³/s en los días previos a nuestros muestreos, los tiempos de viaje hasta la desembocadura serán superiores a 20-30 horas. Esta pequeña precisión nos conduce a afirmar que los caudales medidos en Tortosa no nos son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura, y más teniendo en cuenta las fuertes variaciones horarias del caudal en Tortosa.

b.3) Corrientes

Se poseen los datos proporcionados por el ADP en todas las estaciones. En las figuras 4.1.4 y 4.1.5 se representa los datos correspondientes a dos estaciones, la estación 1M8 más cercana a la boca del río y la estación 1M4 que es representativa de lo que parece ocurrir en el resto de las estaciones muestreadas. De todas maneras como ya hemos comentado anteriormente, los datos del 10% superior de la columna de agua proporcionados por el ADP deben ser rechazados.

Como podemos observar en la figura 4.1.4, en la estación 1M8 la velocidad va disminuyendo acercándose a 0.0 m/s en la interfase, produciéndose también un cambio bastante drástico de dirección a una profundidad aproximada de 1.0 m, y aumentando de nuevo la velocidad a mayor profundidad. Podemos observar que al despreciar los valores superiores de la columna de agua (hasta 0.3 m de profundidad), nos encontramos que entre 0.4 y 0.9 m la velocidad va disminuyendo y la dirección se mantiene aproximadamente hacia el norte-

nordeste. Esta dirección es debida a la fuerza del flujo de agua proveniente del río Ebro, cuya desembocadura apunta hacia el nordeste, y a la dirección del viento. En cambio, a las profundidades entre 1.0 y 2.4 m, la velocidad va aumentando de nuevo y la dirección cambia hacia el sur-suroeste. Este cambio de dirección es debido a que, a mayores profundidades, toman más fuerza las corrientes propias del mar que la fuerza debida al viento y al caudal del río Ebro, y en esta zona costera, en ausencia de fuertes vientos y tormentas, el flujo general es hacia el sur-suroeste (Díaz et al., 1990; Gjevik et al., 2002; Maldonado et al., 1999; Palanques y Drake, 1990; Salat et al., 2002) Por todo ello, la interfase estaría situada a una profundidad aproximada de 1 m.

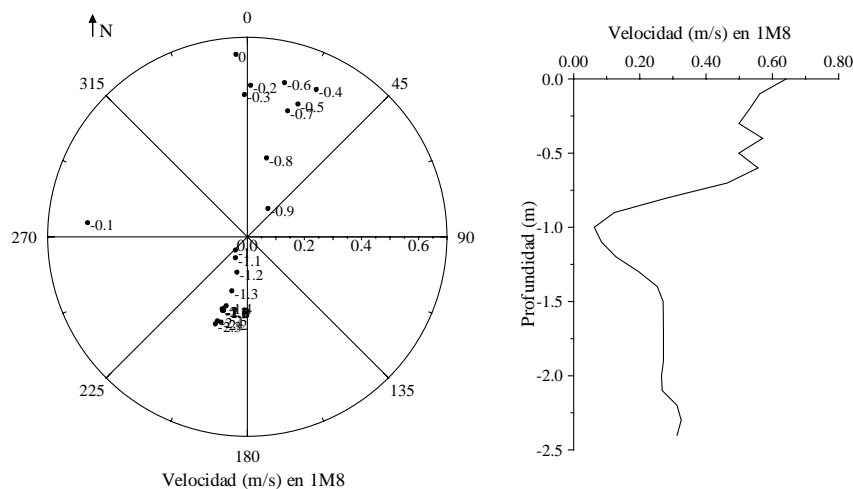


Figura 4.1.4. Dirección (grados) y velocidad (m/s) de la corriente proporcionado por el ADP, en la estación 1M8.

Al contrario, en la estación 1M4 (figura 4.1.5), tanto el perfil de velocidad como la dirección no tienen una tendencia definida.

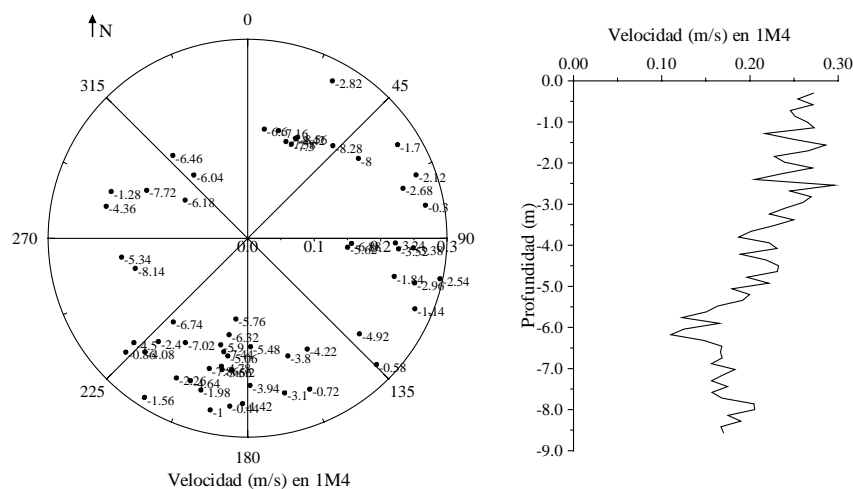


Figura 4.1.5. Dirección (grados) y velocidad (m/s) de la corriente proporcionado por el ADP, en la estación 1M4.

Esto podría ser debido a que al alejarnos de la boca del río, toman más importancia las corrientes propias del mar que la fuerza provocada por la salida del agua dulce/salobre al ambiente marino. Esto mismo ocurre en los perfiles para el resto de las estaciones (1M1, 1M2, 1M3, 1M5, 1M6 y 1M7) que no se han representado. Además, si despreciamos el 10% superior del perfil (en el caso de la estación 1M4 los 90 cm superiores) estamos eliminando la capa de agua de interés. Por todo ello, a partir de ahora, y para el resto de los muestreos, sólo tomaremos en consideración los perfiles del ADP para las estaciones más cercanas a la boca del río.

4.1.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

En este muestreo no se dispone de la determinación previa de la conductividad y temperatura superficiales en las distintas estaciones. Sí que se tienen los datos de conductividad (S/m) y temperatura (°C) provenientes del CTD Seabird para todas las estaciones de muestreo, que pueden verse en la Tabla A-1 del Anexo. Estos datos se representan en la figura 4.1.6, donde cada una de las gráficas está situada junto a la estación de muestreo a la que pertenece. En esta misma figura se ha representado también los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 8 estaciones, datos que pueden observarse en la Tabla A-2 del Anexo.

a) Temperatura

En la figura 4.1.6 podemos ver que la temperatura va disminuyendo al aumentar la profundidad en todas las estaciones. Solamente en la estación 1M3 se observa un pequeño aumento de la temperatura (0.2°C) desde la superficie hasta una profundidad aproximada de 0.5 m, probablemente debido a las condiciones hidrodinámicas. En la mayoría de las estaciones existe un cambio de más de 2°C entre la capa de agua superficial y la capa a 4.0-5.0 m de profundidad, estando por término medio a una temperatura de 17°C y 14.5°C, respectivamente. Sin embargo, podemos observar que las estaciones más cercanas a la boca del río Ebro poseen una temperatura superficial mayor que las situadas mar adentro, siendo en 1M8 de unos 17.5°C y en 1M5 de 16.5°C. En cambio no encontramos esa diferencia de temperatura a las mayores profundidades, siendo en todas las estaciones de aproximadamente 14.5°C.

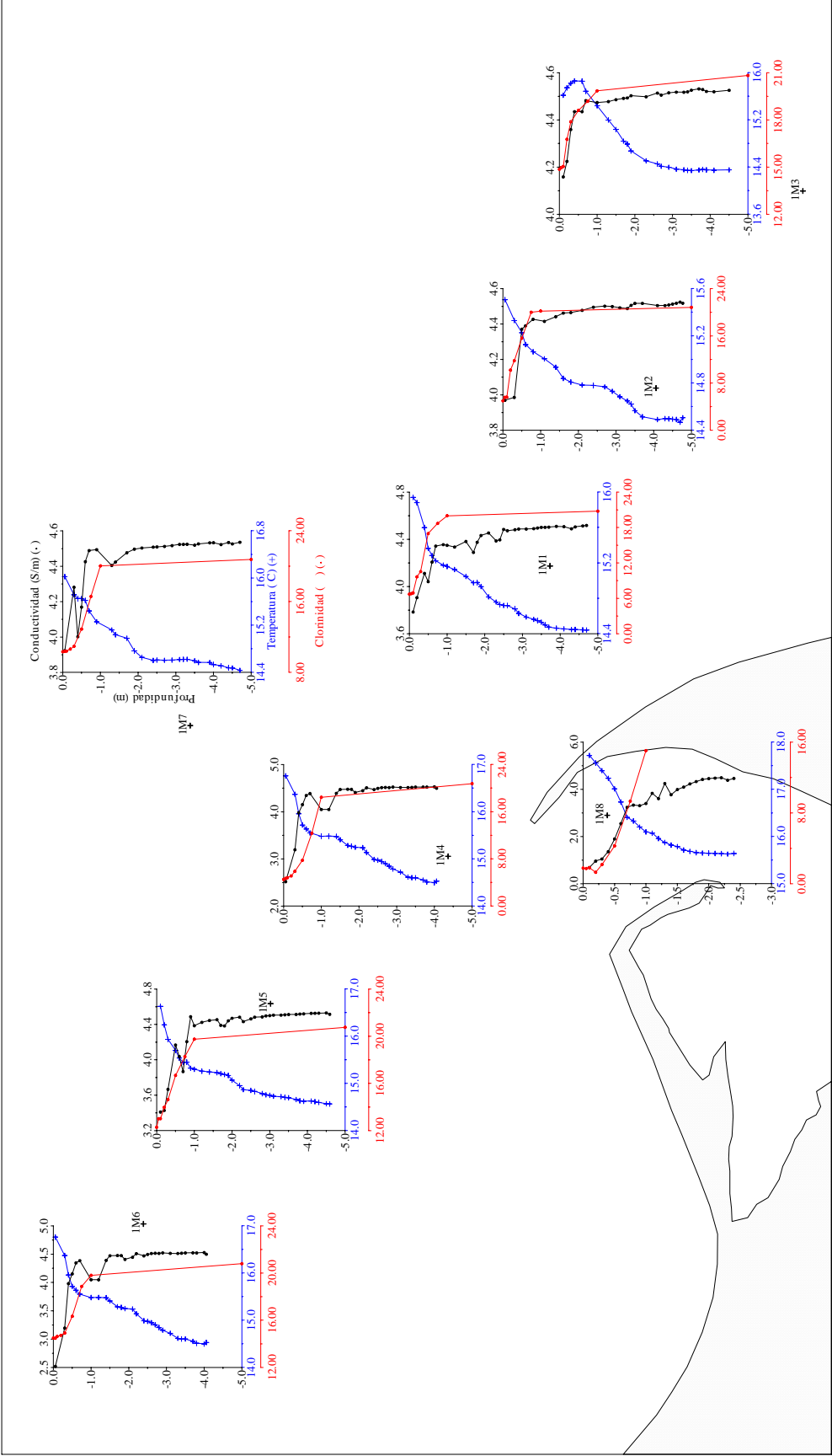


Figura 4.1.6. Perfiles de temperatura (°C) (+) y conductividad (S/m) (•) del CTD Seabird y clorinidad () () de las muestras de agua para el muestreo 1.

Debido tanto a la insolación como a que en esta época del año el agua dulce/salobre del río Ebro que llega al Mediterráneo por la parte superficial posee una mayor temperatura que el agua del mar, se genera un gradiente de temperaturas con la profundidad. Generalmente la temperatura de la capa superficial de la columna de agua va aumentando conforme avanza el día debido al efecto de la radiación solar. Esto puede influir en las diferencias entre los perfiles encontrados en las diferentes estaciones, pues hemos de recordar que el muestreo comenzó en la estación 1M1 a las 10:45 horas y terminó en 1M8 a las 15:08 horas.

El pico de temperatura encontrado en 1M3 en el primer metro de agua cabe achacarlo a que en esta estación el viento provenía del sudeste, lo que introduce agua de mar más fría en la estación 1M3, y agua dulce más caliente en las estaciones 1M4, 1M5, 1M6 y 1M7. En todas las estaciones observamos que la temperatura disminuye al aumentar la profundidad, con un gradiente más acusado en la capa más superficial, hasta una profundidad aproximada de 0.5 m. A partir de unos 4.0 m de profundidad, la temperatura se mantiene más o menos uniforme, como se puede observar, por ejemplo, en las estaciones 1M2, 1M1 y 1M3, debido a que esta masa de agua no se ve tan afectada por la irradiación solar ni por el aporte de agua dulce/salobre del río Ebro, lo que permite que la temperatura sea bastante homogénea.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

Al contrario que la temperatura, podemos observar en la figura 4.1.6 que la conductividad y la clorinidad van aumentando conforme lo hace la profundidad. En el caso de los datos provenientes del CTD Seabird encontramos unas variaciones en zigzag de la conductividad en algunas profundidades que cabe achacar a la problemática generada por las limitaciones del funcionamiento de la sonda. En cambio, observamos que los perfiles obtenidos a partir de la toma de muestras a diferentes profundidades mediante el SWAS nos dan una pauta más clara con variaciones más reducidas, lo que parece indicar una menor afección del método de muestreo (y en especial del movimiento del barco) a la precisión vertical de las medidas. Solamente en el caso de la estación de muestreo 1M8 situada en la misma boca del río Ebro, nos encontramos un punto (0.20 m de

profundidad) que posee una clorinidad menor de lo esperado, que podría deberse tanto a la turbulencia que se genera en la capa superficial de la columna de agua al encontrarse las capas de agua dulce/salobre del río Ebro y salina del mar Mediterráneo, como a problemas en la toma de muestras. La mayor precisión vertical obtenida con este nuevo dispositivo de muestreo (SWAS) con respecto al CTD Seabird queda bien patente en los perfiles presentados en la figura 4.1.6. Se ha logrado recoger muestras de agua a unas profundidades de 0.00, 0.05 y 0.10 m, pudiendo observar claramente las diferencias en sus valores de clorinidad. En cambio, con el CTD Seabird solamente se han podido realizar medidas de conductividad a partir de 0.10 m y con una precisión de 0.1 m. La mayor precisión vertical del SWAS es debida sobre todo a su diseño, pues recordemos que, como ya se comentó en el apartado 3.2.1 del capítulo de Material y Métodos, consta de una lámina de poliuretano protegida por dos láminas de plexiglás que flota y se mueve con la lámina de agua, permaneciendo en contacto con ella. Al contrario, el CTD Seabird queda a una altura fija y las oscilaciones superficiales en el nivel del mar, debidas sobre todo al oleaje, provocan esa menor precisión vertical sobre todo en la capa más superficial de la columna de agua. Además, con el SWAS la toma de muestras a las ocho profundidades se realiza en el mismo momento, lo que no ocurre con las medidas del CTD. Por todo ello, los datos que se utilizarán para la discusión posterior serán los proporcionados por las muestras de agua recogidas mediante el SWAS.

Los valores máximos y mínimos de la clorinidad encontrados en cada una de las estaciones mediante el SWAS, se muestran en la tabla 4.1.1, donde incluimos también la profundidad de dicho máximo o mínimo. El valor mínimo encontrado en este muestreo es de 1.285‰ y se localiza en la estación 1M8 a 0.20 m de profundidad, mientras que el máximo se encuentra en 1M3 a 5.0 m y es de 20.821‰. En cada una de las estaciones la clorinidad va aumentando al hacerlo la profundidad, localizando los máximos a las mayores profundidades y los mínimos en la capa más superficial. La excepción es la estación más cercana a la desembocadura del río Ebro, 1M8, donde el mínimo se encuentra a 20 cm de profundidad y que probablemente sea debido, como anteriormente se comentó, a la turbulencia generada en esta capa superficial o a algún problema en la toma de muestras.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
1M8	15.043	-1.00	1.285	-0.20
1M4	20.738	-5.0	4.496	0.00
1M2	20.819	-5.0	4.985	0.00
1M1	20.762	-5.0	6.687	0.00
1M7	20.747	-5.0	10.319	0.00
1M5	20.747	-5.0	12.282	0.00
1M6	20.786	-5.0	14.466	-0.05
1M3	20.821	-5.0	14.860	0.00

Tabla 4.1.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 1.

En la figura 4.1.7 se ha representado un corte vertical del transecto formado por las estaciones 1M6, 1M5, 1M4, 1M1, 1M2 y 1M3, especificando las profundidades a las que se ha muestreado.

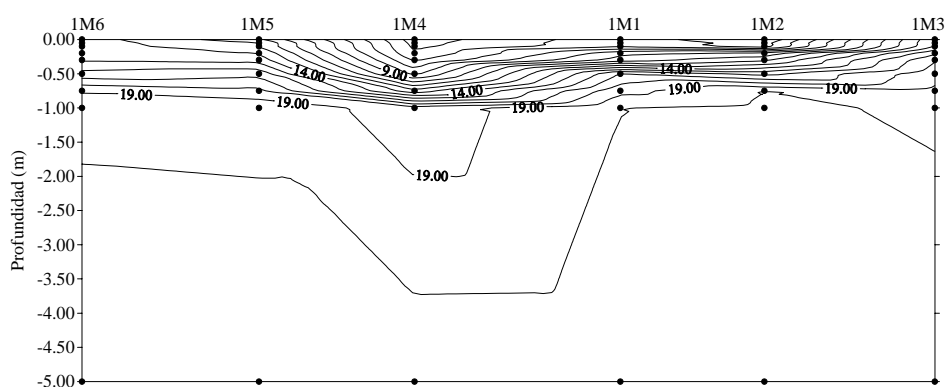


Figura 4.1.7. Distribución vertical de clorinidad (‰) en el transecto 1M6-1M3 con datos provenientes de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS.

Se observa que el mayor gradiente de clorinidad en la columna de agua se produce en el primer metro, por lo que nuestro interés se centrará sobre todo en esta capa de agua superior. De hecho, y como se detalla en Sierra et al. (2001, 2002), el espesor de la pluma del río Ebro oscila entre 0.5 y 1 m.

En la figura 4.1.8 observamos con mayor detalle lo que ocurre en esta parte más superficial. Existe un claro gradiente vertical, aumentando la clorinidad conforme lo hace la profundidad. Esta distribución es la lógica por que al ser menos densa el agua dulce, ésta fluye por encima de la salada. Además se aprecia también un gradiente en la dirección horizontal.

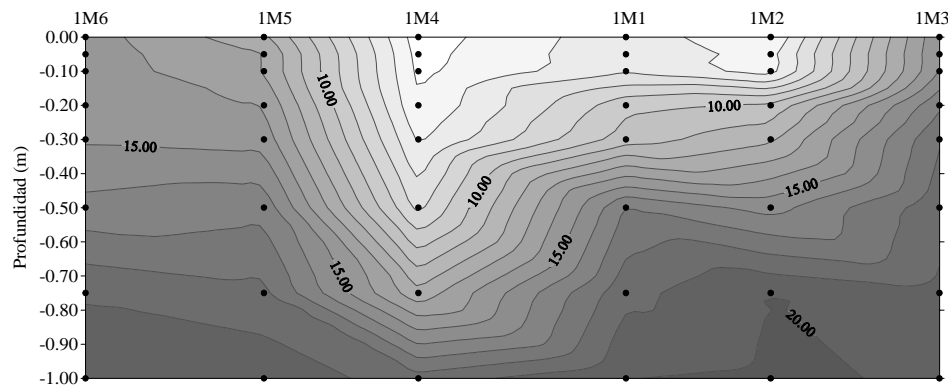


Figura 4.1.8. Distribución vertical de clorinidad (‰) en el transecto 1M6-1M3 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

Estos gradientes son debidos a la progresiva dilución del agua dulce/salobre del río Ebro con el agua más salina del Mediterráneo, al ir alejándose de la desembocadura y diluyéndose los aportes de agua dulce. Así, la estación 1M8 es la que posee mayor influencia del agua dulce/salobre del río, variando la clorinidad desde 1.285‰ hasta 15.043‰. En cambio, las estaciones 1M6 y 1M3 se encuentran ya cercanas a un ambiente típicamente marino, como viene indicado por sus valores de clorinidad que varían desde 14.860‰ y 14.466‰ hasta 20.821‰ y 20.786‰, respectivamente. Ello es una buena muestra de que normalmente la influencia de las aguas continentales disminuye, como cabía esperar, al alejarnos de la boca del río. No obstante esta relación no es causal, ya que los cambios en la dirección de la corriente, originadas en gran parte de los casos por los vientos locales, pueden conducir a zonas de mayor influencia en puntos más alejados de la boca (los valores de salinidad más elevados en 1M1 que en 1M2 son un buen ejemplo). De hecho, como ya se ha dicho en el apartado 4.1.1, aproximadamente a las 10:45 h (1M1) el viento provenía del este (dirección 81.3 grados) y a las 11:30 h (1M2) del norte (dirección 11.4 grados), con una diferencia aproximada de 70 grados, manteniéndose posteriormente del sur.

Como se observa en la figura 4.1.6, en la que se representan los perfiles en cada una de las estaciones, en todas ellas la clorinidad nos muestra una estructura de la columna de agua con una estratificación marcada y un gradiente abrupto. Pero el cambio de la dirección del viento, así como el aumento de la velocidad a partir del momento en que se muestreó 1M3, da lugar a un aumento del proceso de mezcla vertical que conduce a que en algunas estaciones (por ejemplo en 1M8 y 1M5) este gradiente no sea tan abrupto.

En la figura 4.1.9 se muestra la distribución superficial (0.00 m) de la clorinidad en la zona de muestreo, con el valor mínimo en la estación 1M8 (1.76‰) y el máximo en 1M3 (14.86‰). Se puede apreciar claramente la pauta señalada anteriormente, con el aumento progresivo de la clorinidad al alejarnos de la boca. Al mismo tiempo también queda patente el efecto del viento sobre la morfología de la pluma estuarina, pues de hecho, y como se apunta en Durand et al. (2002), Maidana et al. (2002) y Sierra et al. (2002), el movimiento de la pluma del río Ebro está condicionado fundamentalmente por los vientos locales.

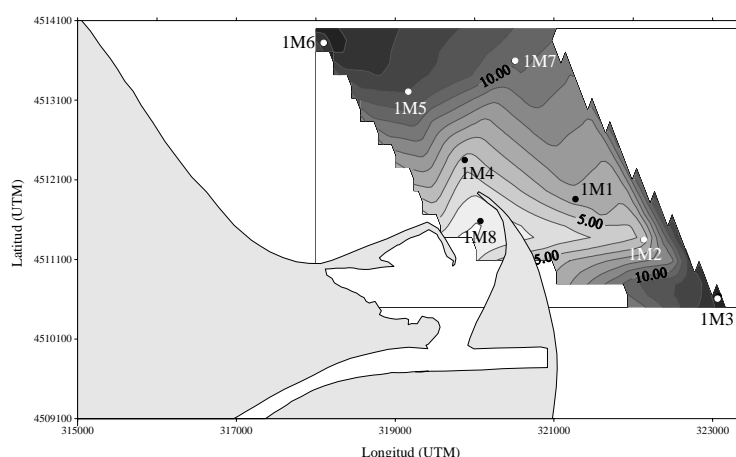


Figura 4.1.9. Distribución superficial de clorinidad (‰). Muestreo 1.

Como ya vimos anteriormente, el viento durante las horas de muestreo provenía en gran medida del sur, y por tanto la pluma estuarina se mueve en dirección norte como se observa en el transecto de la estación 1M8 a la 1M7. En cambio, el movimiento del agua de la pluma estuarina hacia el sudeste (hacia la estación 1M3) cabe achacarlo a que la dirección del viento en 1M2 era de dirección norte, llevando la pluma hacia el sur.

En la figura 4.1.10 se representa las distribuciones horizontales de la clorinidad para todas las profundidades. En ésta se observa que, a lo largo de toda la columna de agua, la clorinidad va aumentando conforme nos alejamos de la boca del río. Evidentemente, las dimensiones de la “mancha” de agua dulce/salobre van disminuyendo conforme aumenta la profundidad, ya que por su menor densidad el agua dulce fluye sobre la salina. Del mismo modo se puede comprobar también que en toda la columna existen dos flujos predominantes en la pluma, uno en dirección norte y otro en dirección sudeste, al igual que ocurría a 0.00 m de profundidad, por las razones ya mencionadas.

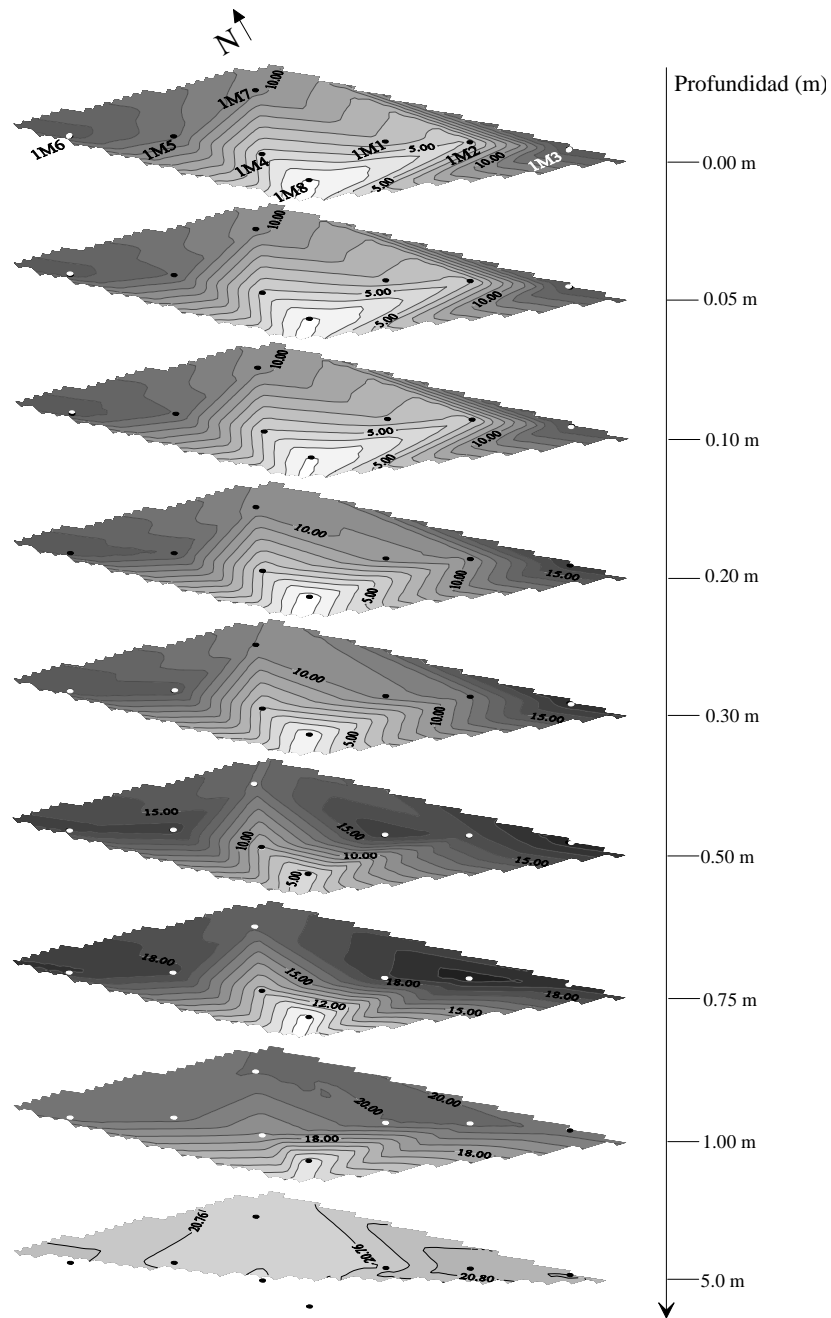


Figura 4.1.10. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 1. (Las distribuciones de 0.75, 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes)

No obstante, se ha de apuntar que, tanto en la distribución horizontal como en la vertical, tiene verdadera importancia la “historia” de la influencia continental. La superposición de diferentes condiciones, como por ejemplo la variación de la dirección del viento que sopla en la zona de estudio, puede generar distribuciones en cualquiera de los parámetros estudiados de difícil explicación. Además hay que tener en cuenta que estas “fotos fijas” (figuras 4.1.7, 4.1.8, 4.1.9 y 4.1.10) son el resultado de varias horas de muestreo a lo largo de las cuales las

condiciones físicas, químicas y biológicas pueden haber cambiado, a veces significativamente.

4.1.3.- Amonio

Como ya comentamos anteriormente (Apartado 1.3.1), esta especie de nitrógeno es la que el fitoplancton utiliza preferencialmente (Estrum-Yousef y Schoor, 2001; González, 1989; Kudo y Harrison, 1997) y además en el caso de carencia las células fitoplanctónicas son capaces de absorberlo en tromba con la velocidad limitada solo por la absorción hasta que llenan los acúmulos internos. Por tanto cabe esperar que la absorción fitoplanctónica sea la salida más importante de las que presenta esta especie de nitrógeno (oxidación química, bacteriana,...). Pero éste no es el único proceso que puede dar lugar a una disminución, pues también pueden tener lugar procesos como oxidación química, absorción bacteriana y nitrificación. En cambio, la concentración de amonio puede aumentar si se producen procesos tales como amonificación de nitrógeno orgánico o de nitrato, excreción heterótrofa, exudación autótrofa y/o aportes bentónicos de los sedimentos. Así, su comportamiento en el proceso de mezcla vendrá dado por la predominancia de uno u otro proceso, como se esquematiza en la figura 4.1.11.



Figura 4.1.11. Procesos relacionados con el ciclo del amonio.

El rango de variación en la concentración de amonio en este primer muestreo es muy pequeño. Los máximos valores encontrados corresponden a 1.7 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 1M6 a la profundidad de 0.50 m y 1.4 $\mu\text{mol/L}$ en 1M8 a 1.00 m. Los más pequeños están por debajo del límite de detección del método analítico ($<0.1 \mu\text{mol/L}$), situación que se da en multitud de muestras, casi todas

ellas en la zona de mayor profundidad. En la tabla 4.1.2 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	1.4	-1.00	0.2	-0.20
1M4	0.8	-0.10	<0.1	-5.0
1M2	0.3	-0.75	<0.1	0.00, -0.05, -0.10, -0.20, -0.30, -0.50, -1.00
1M1	0.7	0.00	<0.1	-0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0
1M7	1.1	-5.0	<0.1	0.00, -0.10
1M5	0.6	-0.10, -0.30, -0.50, -0.75	<0.1	0.00
1M6	1.7	-0.50	0.2	-1.00, -5.0
1M3	0.6	-5.0	<0.1	-0.05, -0.10, -0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -1.00

Tabla 4.1.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Las diferencias entre las concentraciones fluviales y marinas de esta especie son claramente inferiores a las de las otras dos formas inorgánicas de nitrógeno, y ello porque:

1. En condiciones óxicas (las que se dan en esta zona), el amonio es termodinámicamente inestable y tiende a ser oxidado a nitrito y posteriormente a nitrato por las bacterias nitrificantes (Jaffe, 1994).
2. Es absorbido preferentemente a las otras dos formas inorgánicas de nitrógeno a partir de concentraciones de 0.5-1.0 $\mu\text{mol/L}$ (Bishop et al., 1984).
3. En el tramo final de la cuenca los vertidos urbanos e industriales no son importantes, con lo cual no hay aportes de amonio a partir de aguas residuales que pudieran desequilibrar el balance de las distintas formas de nitrógeno en las aguas fluviales. Esto hace que el contenido fluvial de esta especie de nitrógeno sea mucho más reducido que el del nitrato y además las concentraciones fluviales no son tan diferentes de las del mar.

A pesar de que, como ya hemos dicho anteriormente, las diferencias de concentración entre las aguas fluviales y marinas son claramente inferiores a las de otros nutrientes o especies, siguen siendo mayores en el río que en el mar. Como consecuencia de ello, la concentración de amonio presenta hasta cierto punto una pauta de distribución inversa a la de la salinidad/clorinidad. Pero como las diferencias son menores y las entradas y salidas mayores que en el caso del nitrato por ejemplo, como posteriormente veremos, no es de extrañar que encontremos muchas discontinuidades en el comportamiento en la mezcla y en las pautas de distribución espacial de esta especie.

Estas desviaciones de las pautas espaciales pueden apreciarse tanto en la distribución horizontal (figura 4.1.12) como en la vertical (figura 4.1.13).

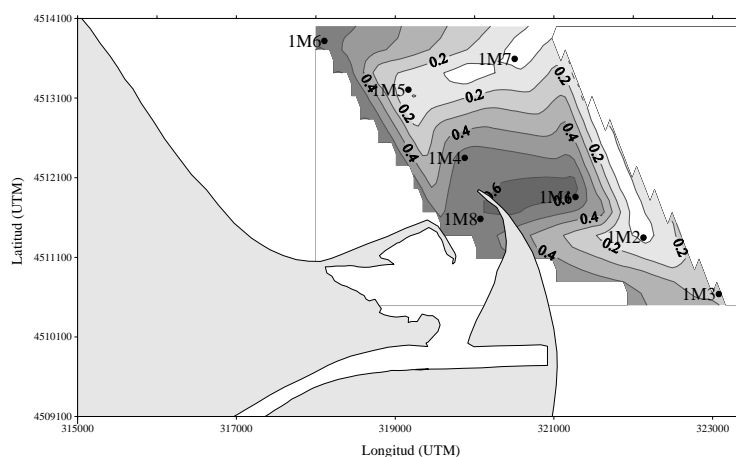


Figura 4.1.12. Distribución superficial de amonio ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 1.

En la distribución superficial (figura 4.1.12) se observa una tendencia a que las concentraciones vayan disminuyendo al aumentar la clorinidad, aunque con irregularidades. En cambio, la esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad no queda del todo patente en la distribución vertical mostrada en la figura 4.1.13. Como se puede observar, solamente en un par de estaciones (1M1 y 1M3) la concentración de amonio parece disminuir al aumentar la profundidad hasta 1.00 m, encontrando diversos picos a profundidades intermedias en el resto. Son de resaltar los aumentos encontrados a una profundidad de 0.50 m en la estación 1M6, a 0.10 m en 1M4 y el encontrado en 1M2 a una profundidad de 0.75 m. Dichos aumentos podría ser debidos a algún tipo de exudación autótrofa y/o heterótrofa.

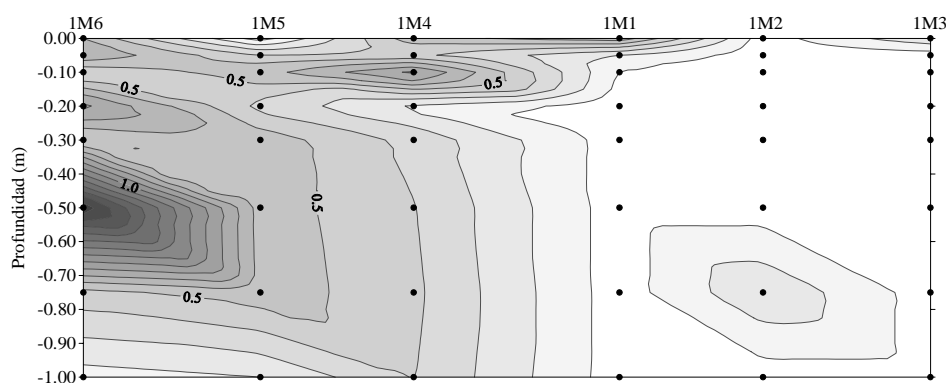


Figura 4.1.13. Distribución vertical de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 1M6-1M3.

Los perfiles de amonio en cada una de las estaciones se muestran de manera más detallada en la figura 4.1.14, donde se incluye además los perfiles de clorinidad. Efectivamente se observa que en la mayoría de las estaciones la concentración de amonio no sigue una pauta muy clara con la profundidad, por la existencia de algunos picos en diversos puntos de la columna de agua.

- En las estaciones 1M1 y 1M3 la concentración disminuye claramente al aumentar la profundidad y por tanto la clorinidad hasta llegar a valores indetectables. Solamente en 1M3 se produce un aumento a 5.0 m de profundidad.

- En 1M2 y 1M7 la concentración en la capa más superficial es indetectable, aumentando hasta un máximo a la profundidad de 0.75 m, disminuyendo hasta 1.00 m y aumentando de nuevo a 5.0 m.

- En 1M8, 1M4, 1M5 y 1M6 hasta una profundidad de 0.30 m encontramos perfiles en zigzag, perfiles que como posteriormente veremos son muy similares a los encontrados para el nitrato. A partir de esta profundidad se encuentran diferencias entre estas cuatro estaciones. En 1M4 y 1M5 la concentración se mantiene constante durante unos centímetros disminuyendo posteriormente. En la estación 1M6 se produce un aumento brusco a 0.50 m de profundidad y a continuación disminuye. En cambio, en 1M8 la concentración de amonio disminuye hasta 0.75 m pero luego aumenta a 1.00 m de profundidad.

No obstante hay que tener en cuenta que nos hallamos en un rango de variación muy reducido con concentraciones bajas (muchas de ellas en o por debajo del límite de detección), por lo que cualquier cambio en la actividad

biológica puede tener una repercusión cuantitativamente significativa. Todo ello junto a las numerosas entradas y salidas que presenta esta especie (ver figura 4.1.11) hace difícil que podamos establecer una relación causal inequívoca de estas variaciones encontradas.

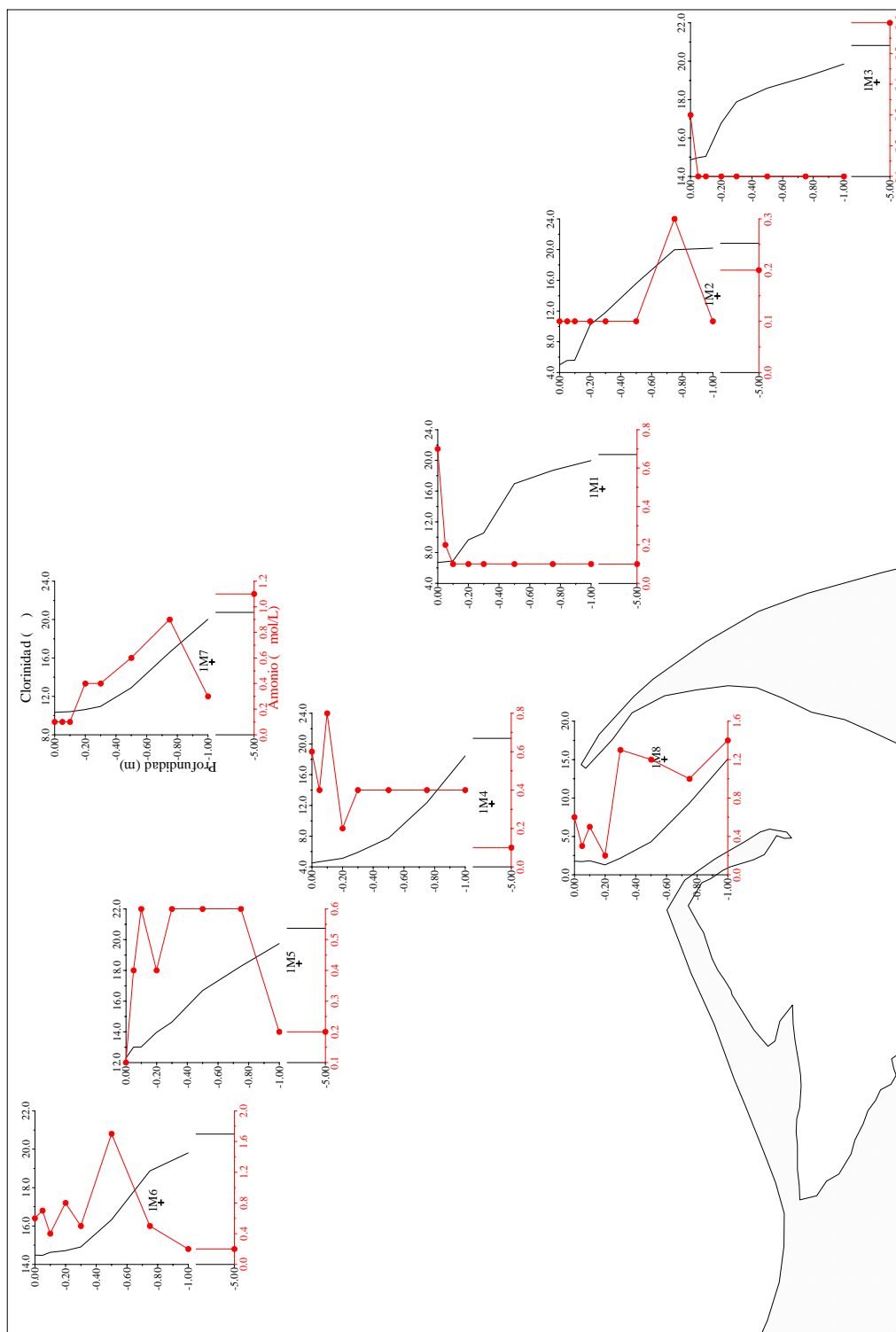


Figura 4.1.14. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 1.

Cabe señalar que las variaciones bruscas en la capa más superficial también se dan en otros nutrientes y en la clorofila *a*. Además en un rango espacial tan estrecho la movilidad de los organismos planctónicos puede afectar la distribución de nutrientes, aunque los datos del contenido de clorofila *a* no muestren una correspondencia clara con las pautas espaciales de los nutrientes.

Estas variaciones en la concentración de amonio se corresponden con diferentes comportamientos en el proceso de mezcla entre las aguas dulces/salobres del río y las más salinas del mar, como se muestra en la figura 4.1.15.

- En las estaciones 1M1 y 1M3 se observa ciertas pérdidas en el proceso de mezcla estuarina. El consumo por parte del fitoplancton y de las comunidades bacterianas parece muy alto, provocando una caída en los niveles de amonio, como también se apunta en Naudin et al. (2001) para la pluma del Ródano. Esta alta absorción provoca una clara disminución de la concentración al aumentar la profundidad y la clorinidad (figuras 4.1.14 y 4.1.15). Solamente a una profundidad de 5.0 m en 1M3 se observa un aumento de la concentración debido probablemente a que la tasa de amonificación y/o de excreción heterótrofa predomina sobre la absorción.

- Esta gran absorción de amonio por parte de las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas provoca que en las estaciones 1M2 y 1M7 las concentraciones superficiales lleguen a ser indetectables. Pero los aumentos que se dan a mayor profundidad en ambas estaciones dan lugar a que el comportamiento sea diferente al observado en 1M1 y 1M3. La tasa de amonificación y/o de excreción heterótrofa predomina sobre la absorción, provocando un cierto aumento en su concentración, aumento que se hace menos acusado en la estación 1M2 al estar la concentración a niveles indetectables hasta una clorinidad aproximada de 16‰.

- El comportamiento observado en 1M8 parece tener su explicación en la senescencia-sedimentación-mineralización de los organismos de agua dulce por el

shock salino, que da lugar al aumento de la concentración de amonio en niveles subsuperficiales.

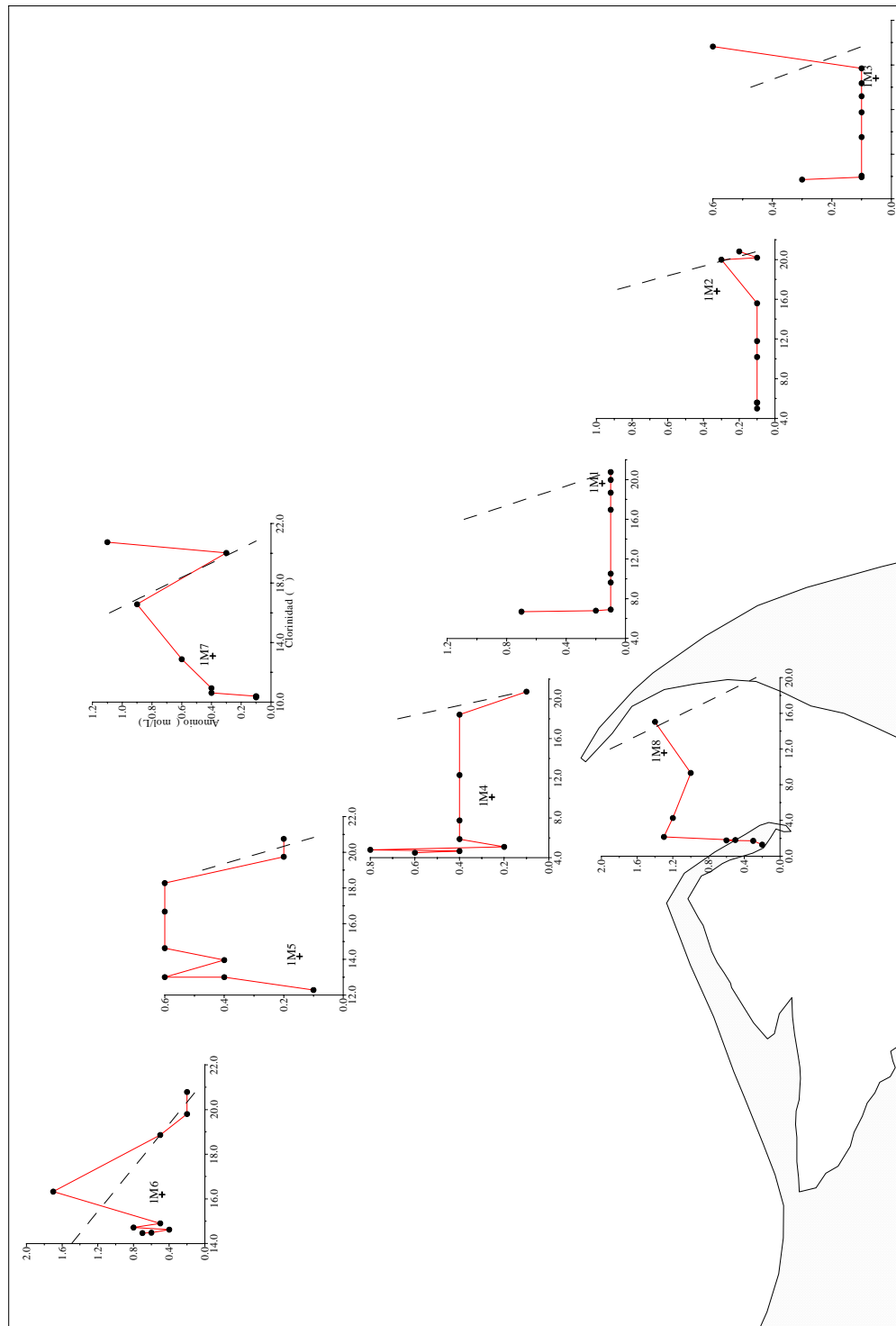


Figura 4.1.15. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

- A primera vista en 1M4 y 1M5, el comportamiento del amonio, aunque similar a 1M8, parece más bien achacable a los bajos niveles existentes y a la reducción de la concentración en los niveles más superficiales por la absorción

fitoplanctónica. De hecho el comportamiento general es de pérdidas sólo que en algunos puntos éstas son simplemente más reducidas.

- Sin embargo en 1M6 sí que parece haber un punto (a una clorinidad aproximada de 16‰) en el que se da una ganancia clara probablemente debida a la exudación, excreción o mineralización de material senescente que sedimenta desde la superficie, mientras que en los puntos de menor salinidad la absorción fitoplanctónica provoca ciertas pérdidas.

Por todo lo comentado anteriormente, y por lo que puede observarse en la figura 4.1.16, donde se representa su comportamiento global en la pluma estuarina, éste es de pérdidas generales, lo que sería una muestra más de la preferencia del plancton por esta forma de nitrógeno, a la que se une las bajas concentraciones relativas de las aguas dulces.

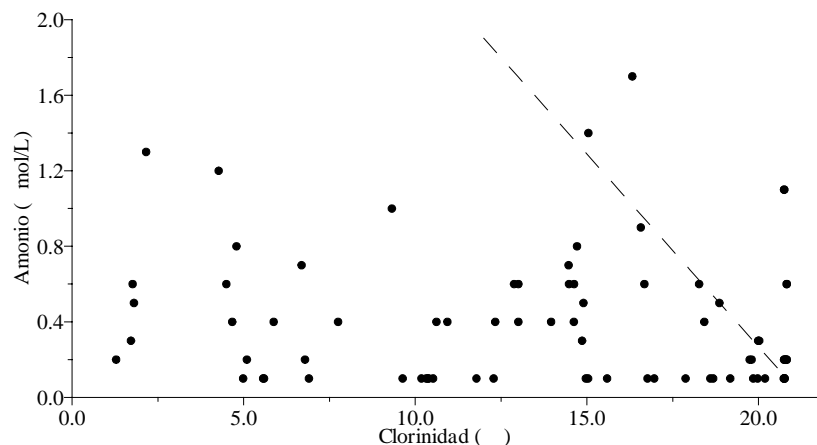


Figura 4.1.16. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 1.

Hay algunas ganancias que son probablemente debidas a que la concentración de esta especie de nitrógeno aumenta en el medio por diversos procesos como la muerte y amonificación de diversos organismos, la excreción y exudación de autótrofos y heterótrofos.

En este muestreo, y para este nutriente, podemos concluir que los procesos internos parecen ser más importantes que los aportes fluviales a la hora de determinar las pautas espaciales y el comportamiento en la mezcla. Las bajas concentraciones encontradas en este primer muestreo son el resultado de la gran absorción de amonio por parte de las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas

en el cuerpo de la pluma, proceso que gobierna en gran medida su comportamiento.

4.1.4.- Nitrato

Hemos de recordar que después del amonio y de la urea, el fitoplancton tiene preferencia por utilizar nitrato como fuente de nitrógeno (Smayda, 1983). Por ello, uno de los procesos que puede afectar negativamente a la concentración de este nutriente será la absorción fitoplanctónica. Pero no es el único, pues también pueden tener cabida otros procesos como amonificación de nitrato, reducción a amonio en medios anóxicos y desnitrificación. En cambio, otros procesos, como la nitrificación, la oxidación química de nitrito y los aportes externos provocan un aumento en su concentración. El conjunto de todos estos procesos dará lugar a un tipo de comportamiento u otro, dependiendo del predominio de unos u otros. En la figura 4.1.17 se esquematiza estos procesos que intervienen en el ciclo del nitrato.

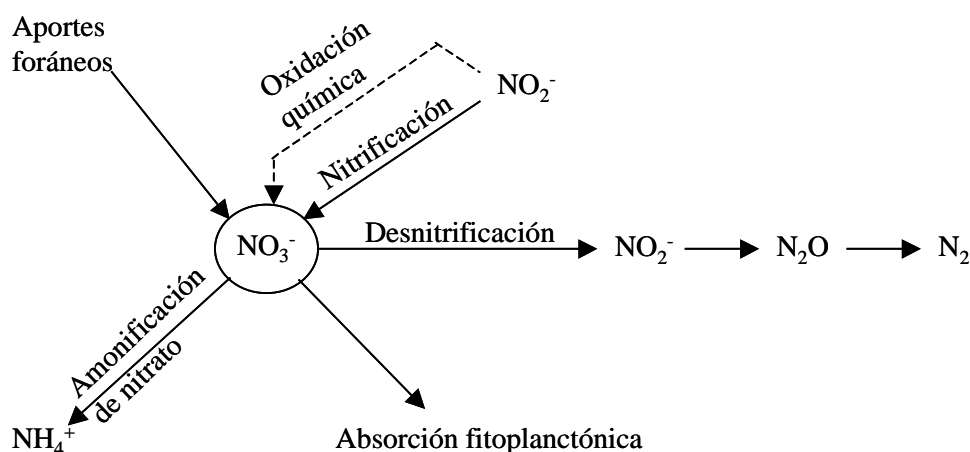


Figura 4.1.17. Procesos relacionados con el ciclo del nitrato.

El rango de la concentración de nitrato en este muestreo es relativamente amplio, con un valor máximo de 163.0 $\mu\text{mol/L}$ a 0.30 m en la estación 1M8 y un mínimo de 0.7 $\mu\text{mol/L}$ en 1M2, 1M6 y 1M3 a 5.0 m. En la tabla 4.1.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores. En todas las estaciones los mínimos se localizan a las mayores profundidades y los máximos generalmente a las menores, pero no siempre en superficie pues por ejemplo en 1M8 y 1M7 lo hacen a 30 y 20 cm de profundidad respectivamente.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	163.0	-0.30	51.3	-1.00
1M4	143.0	0.00	1.8	-5.0
1M2	139.3	-0.10	0.7	-5.0
1M1	116.3	-0.05	0.9	-5.0
1M7	87.0	-0.20	3.4	-5.0
1M5	83.1	-0.10	1.1	-5.0
1M6	61.9	0.00	0.7	-5.0
1M3	48.2	-0.10	0.7	-5.0

Tabla 4.1.3. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrato en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

En este muestreo la especial relevancia de la influencia continental y el aporte de nitratos que de ella se deriva, se plasma en una distribución espacial de esta especie cuyas pautas siguen aproximadamente las de la influencia continental inversas a las de la salinidad, y se reflejan en:

- Los valores más altos se encuentran en las estaciones con más influencia continental y los más bajos en las estaciones en las que ésta es menor. Por ello es en la estación más próxima a la boca del río (1M8), donde más elevadas son las concentraciones. Esta influencia del agua dulce/salobre del río Ebro se refleja en las altas concentraciones superficiales encontradas en las diferentes estaciones de muestreo, como se comprueba en la figura 4.1.18.

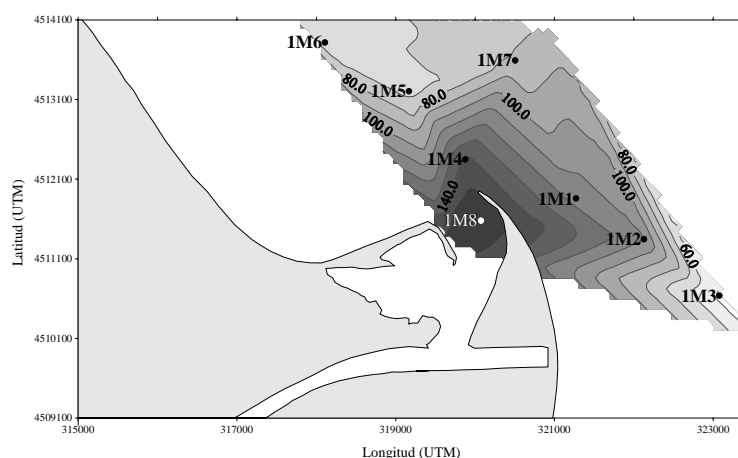


Figura 4.1.18. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 1.

En esta figura observamos que, al igual que ocurre con otros nutrientes, la concentración de nitrato va disminuyendo progresivamente al alejarnos de la boca del río Ebro, al hacerlo la influencia continental. Al movernos hacia los extremos de la pluma (1M7, 1M6 y 1M3), su concentración va disminuyendo debido al proceso de dilución.

- En cada una de las estaciones, la concentración disminuye al aumentar la profundidad, como podemos comprobar en la figura 4.1.19, donde se muestra un corte vertical de la columna de agua hasta la profundidad de 1.00 m para el transecto 1M6-1M3. Esta pauta de la distribución vertical del nitrato es la que cabe esperar dado que las aguas dulces de la pluma, al ser menos densas, discurren por superficie y, por tanto, como habíamos visto en el apartado correspondiente, la influencia continental y por ello el aporte de nutrientes del río, disminuye al aumentar la profundidad.

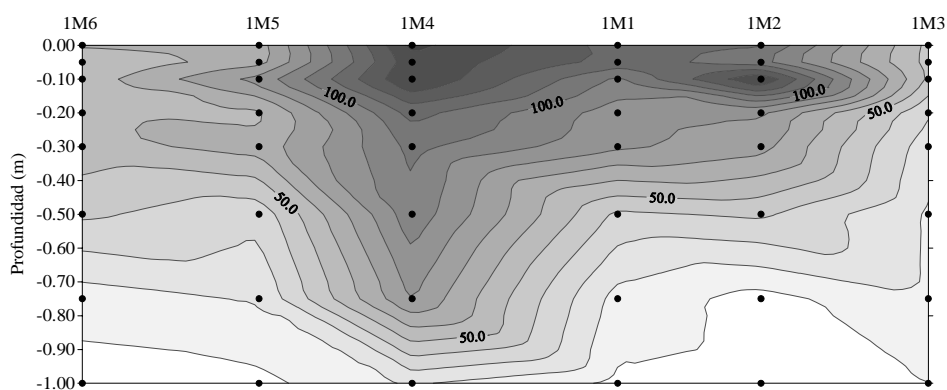


Figura 4.1.19. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 1M6-1M3.

Por tanto, en una primera aproximación parece (ver figura 4.1.19) que la influencia de las aguas continentales provenientes del Ebro es determinante en la distribución de la concentración de nitrato, pero si realizamos un análisis más detallado podemos apreciar que existen desviaciones claras con respecto a la mezcla física pura. Aunque en todas las estaciones las concentraciones de nitrato disminuyen progresivamente con la profundidad (figura 4.1.20) y evidentemente con la clorinidad (figura 4.1.21), se puede observar en algunas una desviación de esta pauta general en la capa superficial de la columna de agua.

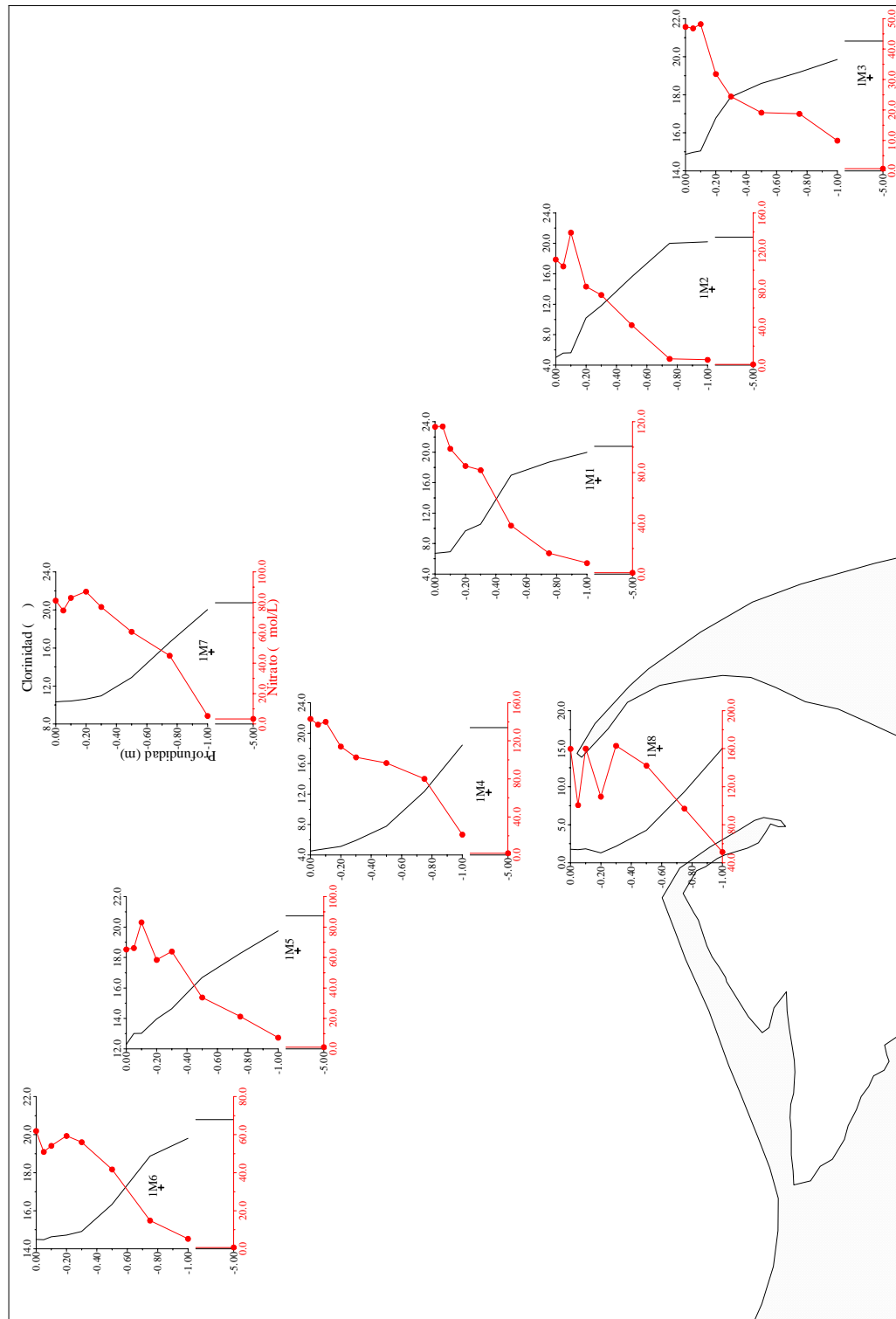


Figura 4.1.20. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 1.

Estas discontinuidades se encuentran confinadas en los 20 cm superiores de la capa superficial, produciéndose una ruptura de la pauta general a diferentes profundidades, aunque en este ámbito las discontinuidades no coinciden entre las diferentes estaciones. En algunas (1M4, 1M2, 1M1 y 1M3) se produce en los 5 cm superiores, en 1M7 y 1M6 en los 10 cm superiores y en cambio en 1M8 y 1M5 en los 20 cm superiores.

Estas desviaciones no son de la misma magnitud en todas las estaciones, encontrándose pequeños descensos en 1M4, 1M1, 1M7 y 1M3, y algo mayores en el resto. No todas estas variaciones derivan de desviaciones del mismo tipo y/o magnitud en el comportamiento en el proceso de mezcla, como se observa en la figura 4.1.21.

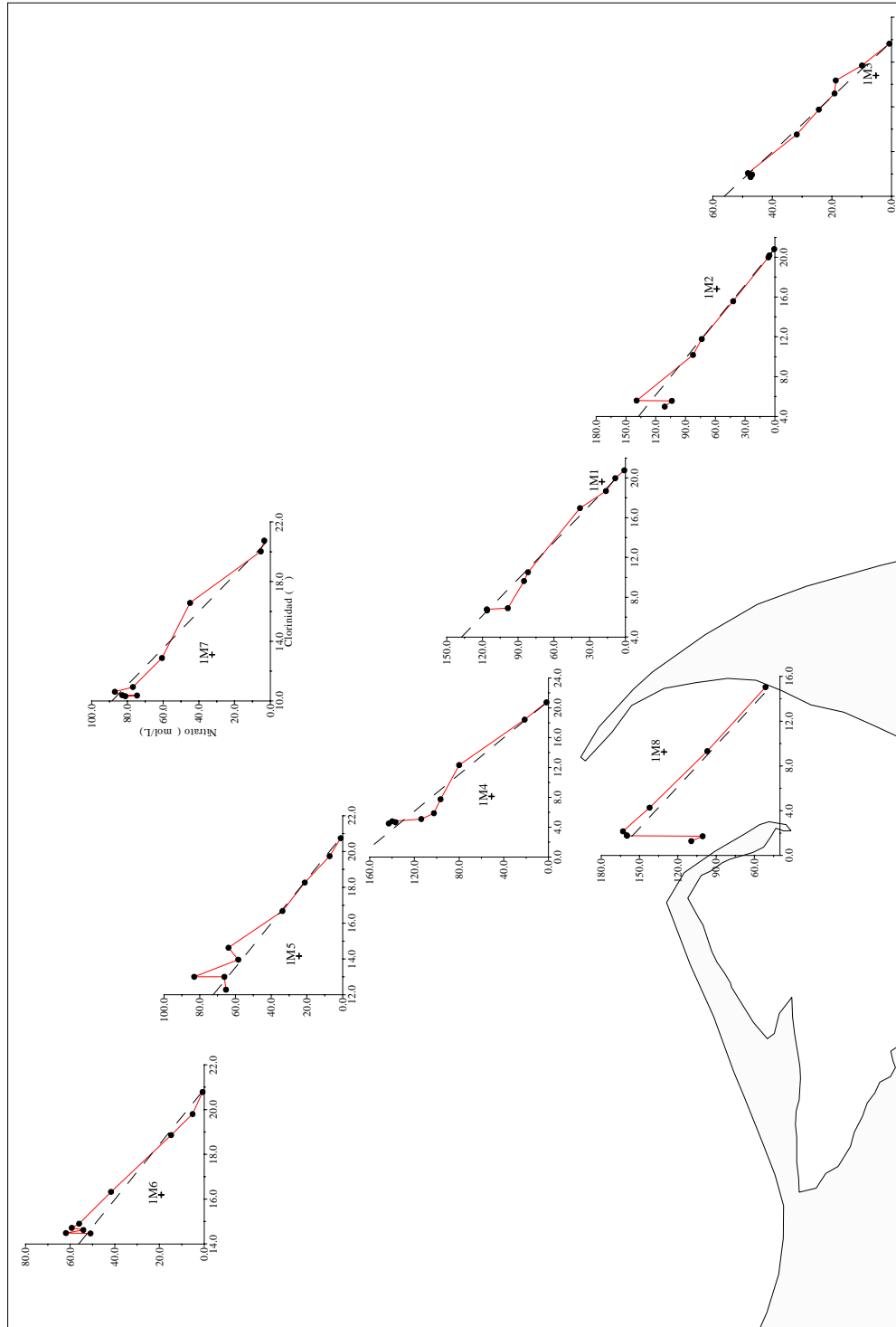


Figura 4.1.21. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

Podemos encontrar diferentes comportamientos:

- En las estaciones 1M8 y 1M2 se puede observar pérdidas superficiales (figura 4.1.21) que dan lugar a grandes discontinuidades en sus perfiles (figura 4.1.20). Estas mismas pérdidas superficiales se producen también en las estaciones 1M4 y 1M1 que se refleja en la distribución vertical en forma de un punto de inflexión a una clorinidad aproximada de 12 ‰ (figura 4.1.21) aunque no se observan grandes discontinuidades en sus perfiles (figura 4.1.20). La única explicación posible es que la absorción fitoplanctónica sea mayor que la nitrificación, ya que no cabe esperar desnitrificación en estas condiciones.

- En cambio, en el resto de estaciones las discontinuidades observadas en los perfiles (figura 4.1.20) no son el resultado realmente de pérdidas sino que se deben a la existencia de ganancias en los puntos superiores, que son las que provocan un cambio de tendencia. Todas estas ganancias se producen en un rango de clorinidad intermedio (aproximadamente entre 12 y 18‰), y son principalmente el resultado de la predominancia de procesos como la nitrificación, o en menor medida la oxidación química de nitrito, sobre los que hacen disminuir su concentración como es la absorción fitoplanctónica.

- Por último, en las capas de agua inferiores más salinas de todas las estaciones la concentración de nitrato varía siguiendo un comportamiento conservativo, es decir, disminuyendo como consecuencia de la mezcla física pura. Esto nos indica que los procesos de entrada y salida a este compartimiento están equilibrados.

Al igual que ocurre con otros nutrientes, las desviaciones en los perfiles de nitrato (figura 4.1.20) no siempre se corresponden, como cabría esperar, con un aumento o disminución en los correspondientes de clorofila *a* como posteriormente veremos (figura 4.1.57), por las razones ya apuntadas anteriormente en el caso del amonio.

El comportamiento global del nitrato en la pluma se muestra en la figura 4.1.22.

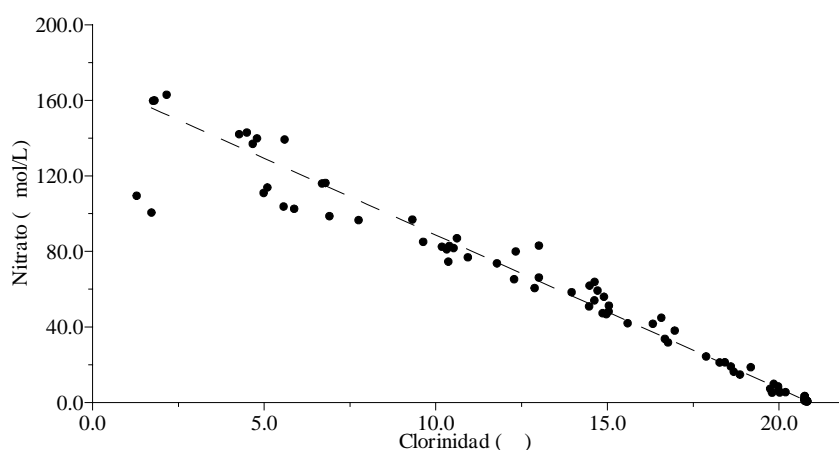


Figura 4.1.22. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 1.

Se observa que, en conjunto, el nitrato presenta un comportamiento bastante conservativo en el proceso de mezcla entre las aguas dulces/salobres del río Ebro y las más salinas del mar Mediterráneo. Parece que las entradas y salidas a este compartimento están bastante equilibradas, es decir, que los procesos que disminuyen su concentración están compensados con aquellos que la pueden llegar a aumentar, como también se ha visto en la pluma del Ródano (Naudin et al., 2001) y en la zona costera del estuario del Humber (Uncles et al., 1998). De todas maneras se puede apreciar ligeras pérdidas en la zona de menor clorinidad (aproximadamente hasta 12‰) debidas al predominio de la absorción fitoplanctónica, ligeras ganancias en el rango 12-17‰ debidas probablemente a la predominancia de la nitrificación, o en menor medida de la oxidación química de nitrito, y un comportamiento más conservativo en la zona más salina en la que ambos tipos de procesos se compensan.

4.1.5.- Nitrito

Este nutriente es tras el amonio, urea y nitrato, la fuente preferente de nitrógeno para la absorción fitoplanctónica (Smayda, 1983). Por ello, este proceso podrá disminuir su concentración pero en menor medida que para el amonio y el nitrato. En cambio, otros procesos como la nitrificación, la oxidación química y la desnitrificación en la columna de agua pueden provocar mayores disminuciones de la concentración de este nutriente. Por el contrario, los procesos que aumentan la concentración de nitrito en la columna de agua son la exudación autótrofa, la nitrificación de amonio y los aportes bentónicos de los sedimentos. Todos estos procesos se detallan en la figura 4.1.23.

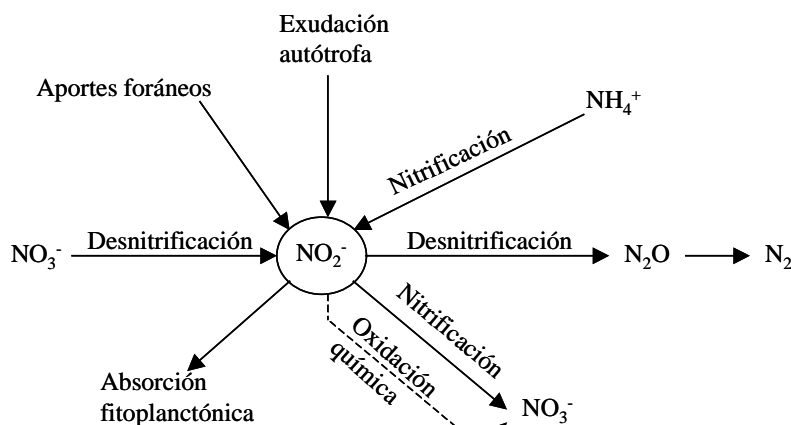


Figura 4.1.23. Procesos relacionados con el ciclo del nitrato.

La concentración de nitrito en este muestreo posee un rango de variación menor al del nitrato, como se muestra en la tabla 4.1.4.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	1.53	0.00	0.35	-1.00
1M4	1.40	-0.05	<0.01	-5.0
1M2	1.18	0.00	<0.01	-0.75, -1.00, -5.0
1M1	1.06	0.00	<0.01	-1.00, -5.0
1M7	0.73	0.00	<0.01	-1.00, -5.0
1M5	0.57	0.00	<0.01	-1.00, -5.0
1M6	0.39	-0.05	<0.01	-1.00, -5.0
1M3	0.44	0.00	<0.01	-1.00, -5.0

Tabla 4.1.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Como era de esperar, al igual que ocurre con otros nutrientes, el valor máximo encontrado en este muestreo se localiza en la estación más cercana a la desembocadura del río Ebro (1M8) ya que es donde mayor es la influencia continental y es de $1.53 \mu\text{mol/L}$ en superficie. Los mínimos se corresponden con el límite de detección del método analítico ($<0.01 \mu\text{mol/L}$) y han sido encontrados en las muestras de mayor profundidad en todas las estaciones excepto en 1M8.

Para este nutriente también queda patente que la influencia de los aportes continentales determina su distribución espacial a lo largo de la pluma. Como se observa en la figura 4.1.24, donde se representa la distribución superficial, las

mayores concentraciones de nitrito se localizan en las estaciones con mayor influencia continental, que en este caso son las más próximas a la desembocadura (1M8 y 1M4), disminuyendo conforme aumenta la clorinidad.

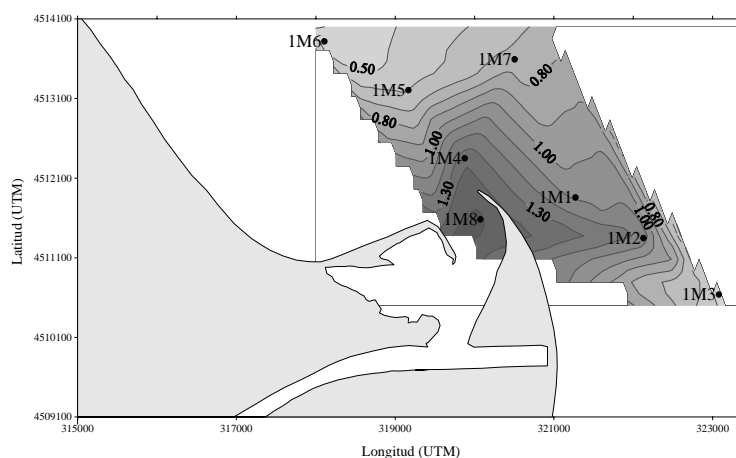


Figura 4.1.24. Distribución superficial de nitrito ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 1.

Estas altas concentraciones superficiales disminuyen al aumentar la profundidad, como podemos comprobar en la figura 4.1.25, donde se muestra un corte vertical de la columna de agua hasta la profundidad de 1.00 m para el transecto 1M6-1M3. Esta pauta es la esperada al producirse la mezcla física entre dos masas de agua de diferente concentración, una dulce/salobre con alta cantidad de nutrientes y una más salina de concentración inferior y mayor densidad.

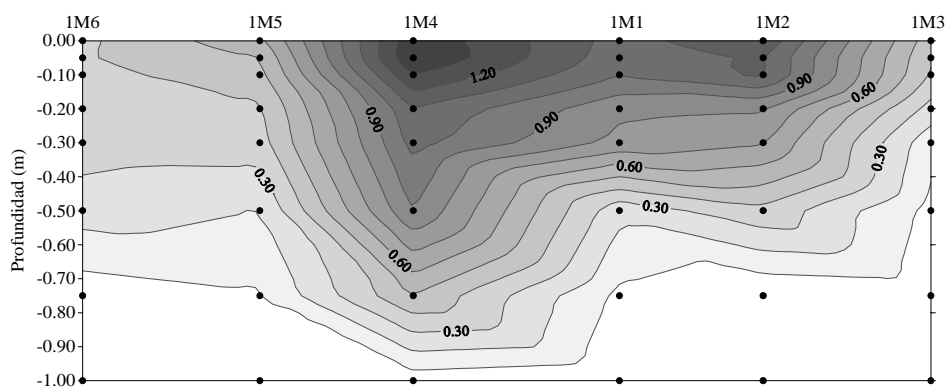


Figura 4.1.25. Distribución vertical de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 1M6-1M3.

Esta misma variación de la concentración de nitrito con la profundidad se observa en la figura 4.1.26, donde se representan los perfiles verticales en cada una de las estaciones. En algunas de éstas se observa pequeñas desviaciones de esta pauta, como sucede en la capa de agua más superficial en 1M8 a 0.20 m, en 1M4 a 0.05 m, 1M2 a 0.10 m y en 1M6 a 0.05 y 0.20 m. Estas desviaciones son probablemente debidas a la absorción fitoplanctónica, nitrificación y/o en menor medida a la oxidación química.

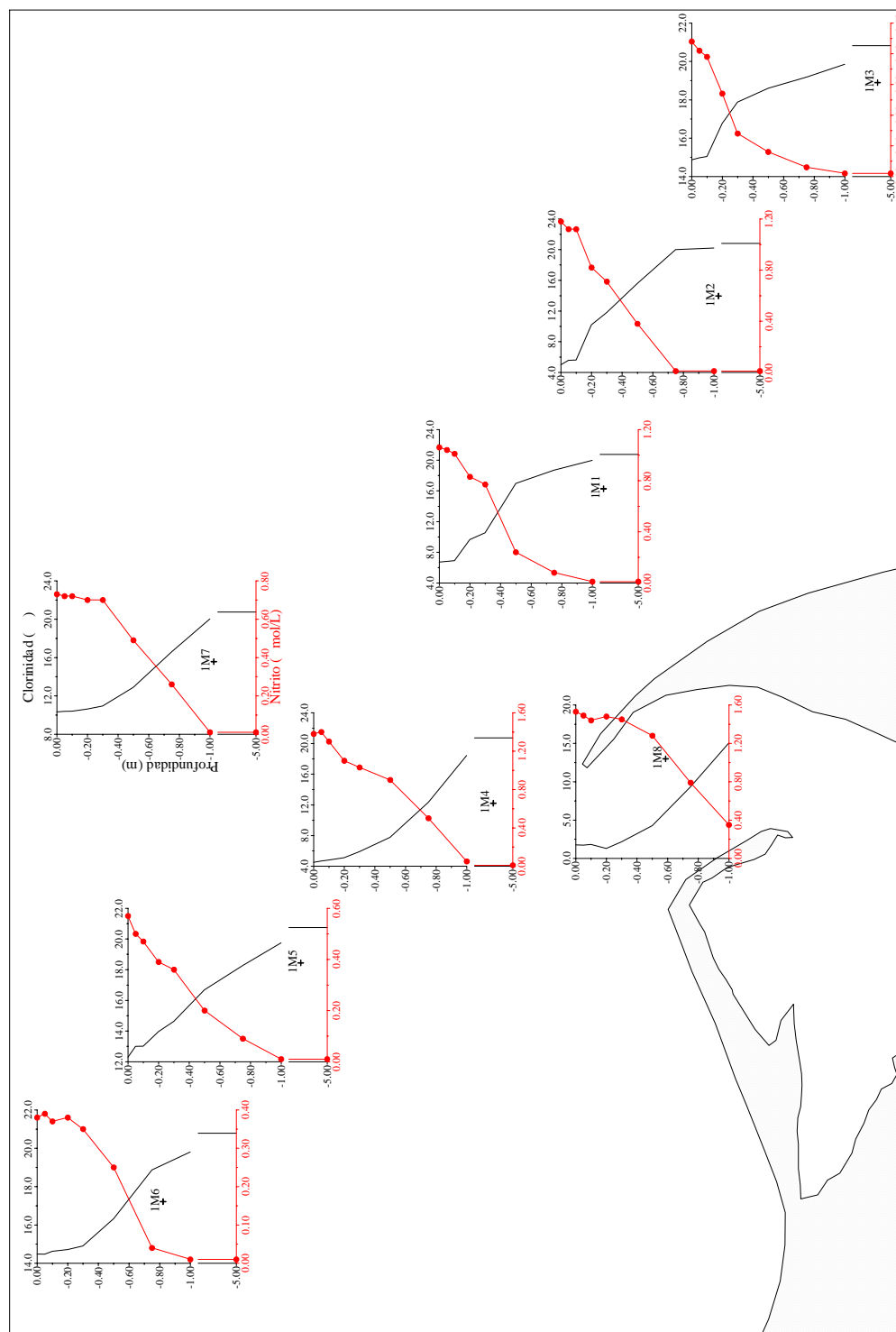


Figura 4.1.26. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 1.

Sin embargo, estas disminuciones son de pequeña magnitud y el comportamiento del nitrito en la mezcla estuarina cuando se aleja significativamente de la mezcla ideal lo hace presentando pérdidas, como se muestra en la figura 4.1.27, donde se observa el comportamiento en cada una de las estaciones.

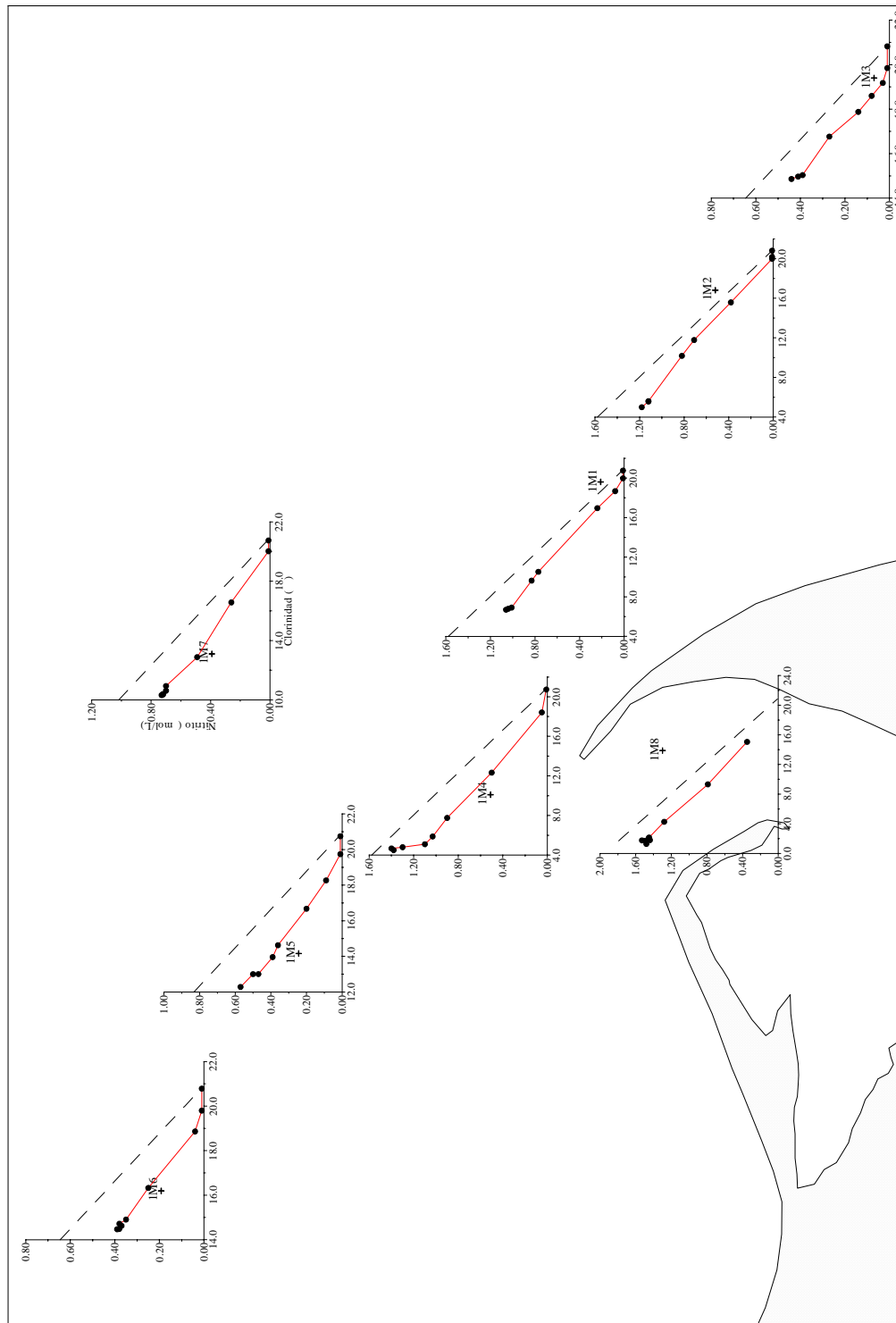


Figura 4.1.27. Comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

Si nos centramos en la línea de mezcla ideal de origen fluvial, en todas las estaciones se observa una pérdida neta en el proceso de mezcla entre las aguas dulces/salobres del río Ebro y las aguas más salinas del mar Mediterráneo, siendo menos acusada en 1M8 y 1M2. Los factores que provocan estas pérdidas pueden ser la oxidación química, la nitrificación y/o la absorción por parte del

fitoplancton. Aunque en muchas de las estaciones, tras las pérdidas iniciales, se da un comportamiento cercano a la linealidad.

El comportamiento global del nitrito en la pluma estuarina es de pérdidas, como se observa en la figura 4.1.28, su concentración va disminuyendo desde valores aproximados de 1.50 $\mu\text{mol/L}$ hasta los niveles indetectables que se dan a las mayores clorinidades.

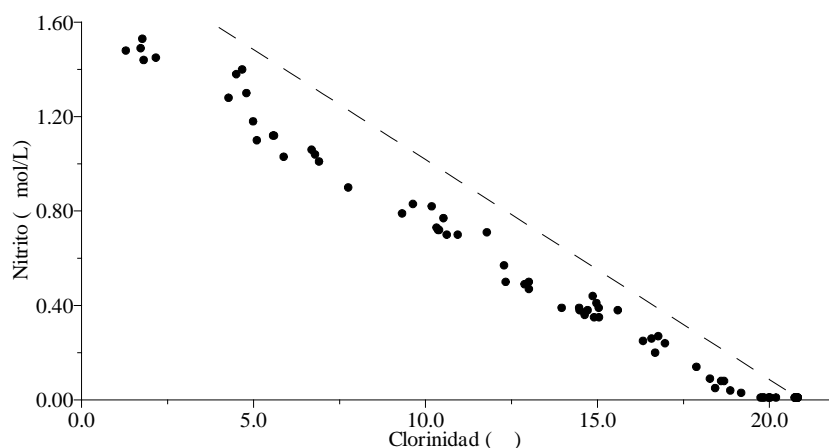


Figura 4.1.28. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 1.

4.1.6.- *Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)*

El NID es la suma de las especies inorgánicas disueltas del nitrógeno (amonio, nitrato y nitrito), por lo que el comportamiento de éste vendrá dado por la suma de los otros tres, teniendo más peso el nitrato al ser en general el de mayor concentración. En la figura 4.1.29 se esquematiza los procesos relacionados con su ciclo.

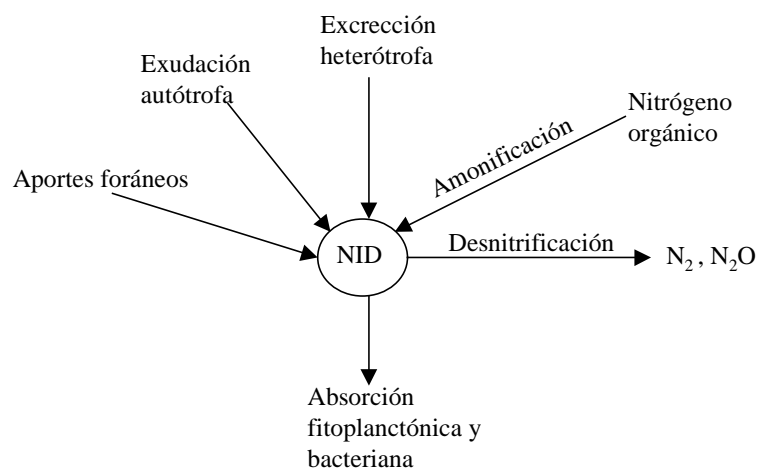


Figura 4.1.29. Procesos relacionados con el ciclo del NID.

Se producirá una disminución en su concentración si tienen lugar procesos como la absorción fitoplanctónica y la desnitrificación. En cambio, procesos como amonificación, excreción heterótrofa y exudación autótrofa en la columna de agua y aportes bentónicos de los sedimentos provocarán un aumento de la concentración de NID.

Como podemos comprobar en la tabla 4.1.5, la concentración de NID posee un amplio rango de variación, con un máximo de 165.7 $\mu\text{mol/L}$ a la profundidad de 0.30 m en la estación 1M8 y un mínimo de 0.9 $\mu\text{mol/L}$ en 1M2, 1M1 y 1M6 a 5.0 m de profundidad.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	165.7	-0.30	53.0	-1.00
1M4	145.0	0.00	1.8	-5.0
1M2	140.4	-0.10	0.9	-5.0
1M1	117.8	0.00	0.9	-5.0
1M7	88.1	-0.20	4.5	-5.0
1M5	84.2	-0.10	1.3	-5.0
1M6	62.9	0.00	0.9	-5.0
1M3	48.6	-0.10	1.3	-5.0

Tabla 4.1.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Al ser la concentración de NID la suma de amonio, nitrito y nitrato, y debido a las bajas concentraciones de los dos primeros respecto al tercero, todo lo que se ha planteado para el nitrato es válido para el NID. Así, como era de esperar, y al igual que ocurría con el nitrato, la estación 1M8 es la que posee mayor concentración de NID al ser la de mayor influencia continental, disminuyendo conforme nos alejamos de la desembocadura del río. Estas concentraciones van disminuyendo en todas las estaciones al aumentar la profundidad y la clorinidad, encontrándonos los menores valores de NID a las mayores profundidades.

Como se comprueba en las figuras 4.1.30 y 4.1.31, los perfiles de concentración del NID y su comportamiento en cada una de las estaciones son prácticamente iguales a los del nitrato, por lo que todo lo comentado para el nitrato es válido para el NID.

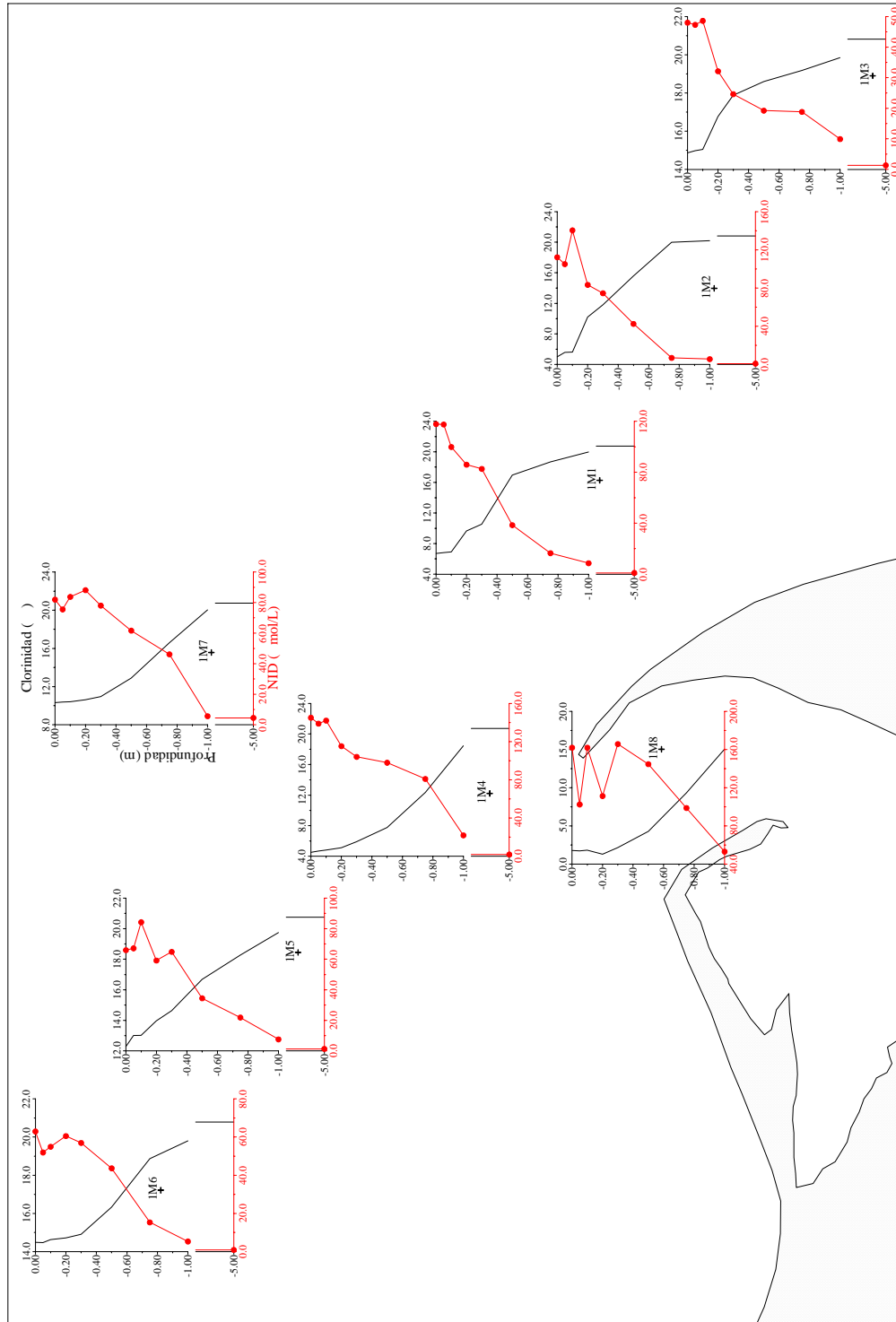


Figura 4.1.30. Perfiles verticales de NID. Muestreo 1.

Existen algunas diferencias entre las diversas estaciones como se observa en la figura 4.1.31.

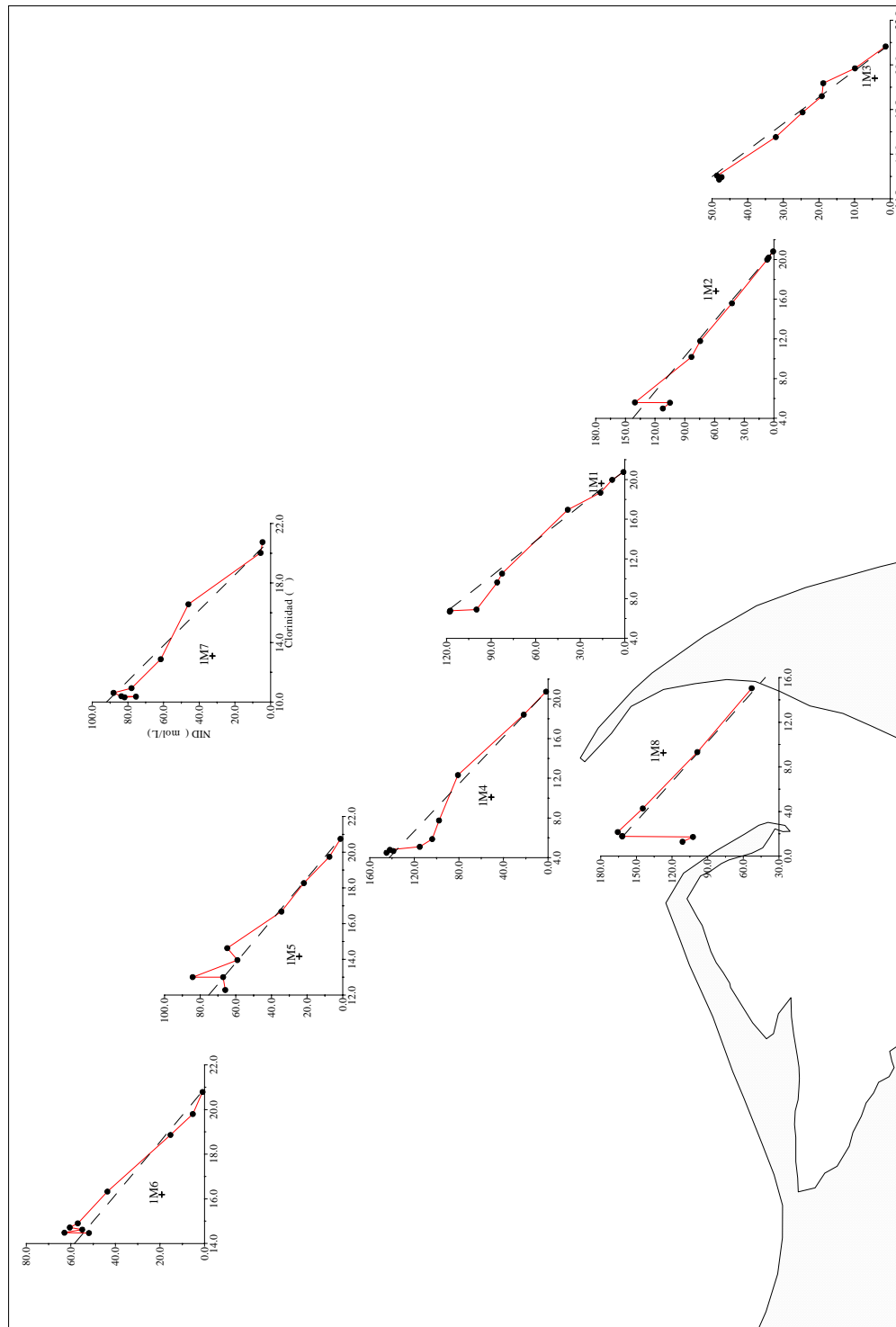


Figura 4.1.31. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

- En las estaciones 1M8, 1M4, 1M2 y 1M1 la absorción fitoplanctónica genera unas ciertas pérdidas del NID en la parte menos salina de la columna de agua. A mayor clorinidad el comportamiento del NID es conservativo debido a que los diversos procesos que generan nitrógeno inorgánico disuelto están compensados con aquellos que lo consumen.

- En 1M7 y 1M3 se comporta de manera más o menos conservativa en toda la columna de agua, existiendo un equilibrio dinámico entre las entradas y salidas a este compartimiento.

- Por último, en 1M5 y 1M6 observamos un comportamiento conservativo en toda la columna de agua excepto en la capa más superficial, donde encontramos un pequeño aumento de su concentración probablemente debido a algún proceso de exudación autótrofa y/o excreción heterótrofa.

En la figura 4.1.32 se representa el comportamiento global del NID en la pluma estuarina, donde se observa el mismo comportamiento que el nitrato, disminuyendo su concentración linealmente al aumentar la clorinidad. Se aprecian ligeras pérdidas en la zona de menor clorinidad (aproximadamente hasta 12‰) por la absorción fitoplanctónica, ligeras ganancias en el rango 12-17‰ debidas probablemente a la exudación autótrofa y/o excreción heterótrofa y un comportamiento más conservativo en la zona más salina en la que ambos tipos de procesos se compensan.

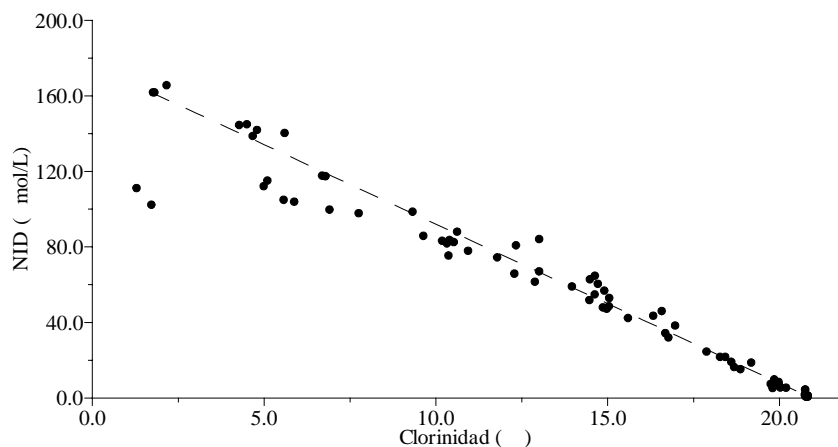


Figura 4.1.32. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 1.

4.1.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

Al igual que ocurre con el amonio, el ortofosfato (que puede asimilarse a PSR) es la forma disuelta de fósforo que en primer lugar es absorbida por el fitoplancton (Migon y Sandroni, 1999). Por ello será este proceso el que marque el comportamiento de este nutriente en el proceso de mezcla. Pero su concentración también puede verse disminuida por su adsorción en partículas y su precipitación. En cambio, los procesos que provocarán un aumento de la

concentración serán la desorción de partículas suspendidas, la hidrólisis química o enzimática del PDT o PT y de ésteres orgánicos, la excreción de autótrofos y heterótrofos, la solubilización del fósforo inorgánico particulado y los aportes bentónicos debidos a la mineralización de la materia orgánica y/o a procesos de adsorción/desorción. Su comportamiento en la mezcla vendrá dado por la predominancia de uno u otro proceso, como se esquematiza en la figura 4.1.33.

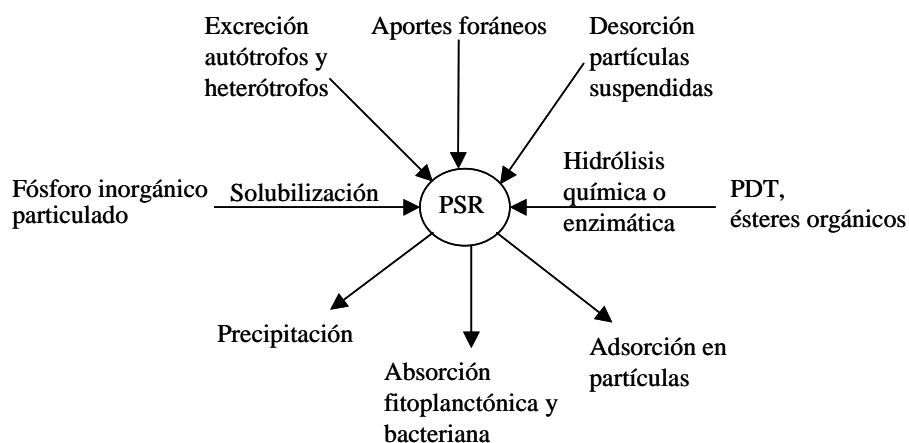


Figura 4.1.33. Procesos relacionados con el ciclo del PSR.

En los resultados encontrados en los tres compuestos de fósforo que vamos a estudiar (PSR, PDT y PT), se obtuvieron datos “anómalos” en algunas de las muestras, ya que no se cumple que la concentración de PSR sea menor o igual que la de PDT y esta última menor o igual que la de PT. En estos casos en los que se producen estas anomalías, y que se pueden observar en la tabla 4.1.6, se repitieron los análisis de los parámetros varias veces, encontrando siempre similares resultados. Muchos de estos datos “anómalos” se han podido producir debido al límite de detección del método analítico ($0.03 \mu\text{mol/L}$), pues las diferencias entre ellos son menores o iguales a $0.03 \mu\text{mol/L}$ y se corresponden con las muestras especificadas en esta tabla 4.1.6 como Ldd. Sin embargo los otros cinco casos, que se denotan con * en dicha tabla, se corresponden con valores de PDT mayores que PT o valores de PSR mayores que PDT cuyas diferencias son superiores a dicho límite de detección y que no tienen una fácil explicación, por lo cual nos limitaremos a desecharlos de la discusión posterior. Así, de todos los datos anómalos encontrados en este muestreo, solamente desecharemos aquellos cinco valores subrayados en los que la diferencia es mayor a $0.03 \mu\text{mol/L}$.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	
1M1-0.10	0.83	<u>0.78</u>	1.46	*
1M1-0.75	0.03	<0.03	0.37	Ldd
1M1-5.0	0.03	<0.03	0.28	Ldd
1M2-1.00	0.10	0.11	0.10	Ldd
1M3-0.50	0.03	<0.03	0.45	Ldd
1M4-0.05	0.79	<u>0.69</u>	1.95	*
1M4-0.30	0.85	1.29	1.26	Ldd
1M4-0.50	0.90	1.17	<u>1.05</u>	*
1M4-1.00	0.06	<0.03	0.31	Ldd
1M4-5.0	0.04	<0.03	0.11	Ldd
1M5-0.75	0.04	0.03	0.21	Ldd
1M5-5.0	0.07	0.11	0.07	Ldd
1M6-0.20	0.22	0.19	0.65	Ldd
1M6-5.0	0.05	<0.03	0.10	Ldd
1M7-0.00	0.54	<u>1.37</u>	0.87	*
1M7-5.0	0.03	<0.03	0.06	Ldd
1M8-0.75	0.61	<u>1.28</u>	0.95	*

Tabla 4.1.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 1.

La concentración de fósforo soluble reactivo (PSR) varía desde unos máximos de $1.09 \mu\text{mol/L}$ a 0.10 m en la estación 1M4 y de $1.05 \mu\text{mol/L}$ a 0.50 m en 1M8, hasta unos mínimos inferiores a $0.03 \mu\text{mol/L}$ en las estaciones 1M2 a 5.0 m y 1M3 a 1.00 m y 5.0 m . En la tabla 4.1.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas de PSR encontradas en este muestreo para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes. Como era de esperar, al igual que ocurre con el resto de nutrientes, la influencia continental queda patente en las concentraciones de PSR encontradas en cada una de las estaciones, tanto en la dimensión horizontal como en la vertical. Las estaciones 1M8 y 1M4 son las que poseen mayor concentración de PSR al tener mayor influencia del río Ebro, teniendo menores concentraciones las estaciones más salinas (1M6 y 1M3). En cada una de las estaciones los valores mínimos se encuentran generalmente en las capas más profundas, estando los máximos en las más superficiales.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	1.05	-0.50	0.31	-1.00
1M4	1.09	-0.10	0.04	-5.0
1M2	0.40	-0.05	<0.03	-5.0
1M1	0.83	-0.10	0.03	-0.75, -1.00, -5.0
1M7	0.55	-0.05	0.03	-5.0
1M5	0.55	-0.10	0.04	-0.75, -1.00
1M6	0.22	0.00, -0.05, -0.20	0.03	-0.75
1M3	0.15	-0.05	<0.03	-1.00, -5.0

Tabla 4.1.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

En la figura 4.1.34, donde se representa la distribución superficial, se observa que al alejarnos de la boca del río estas concentraciones van disminuyendo, al hacerlo la influencia continental. Así, al movernos hacia los extremos de la pluma (1M7, 1M6 y 1M3), su concentración va disminuyendo debido a la dilución con las aguas salinas de menor concentración.

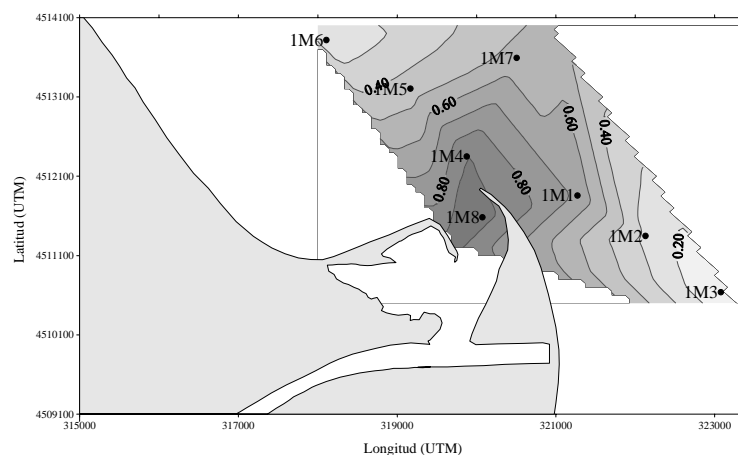


Figura 4.1.34. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 1.

Esta disminución de la concentración al aumentar la clorinidad también queda patente en la figura 4.1.35, donde se muestra un corte vertical de la columna de agua hasta la profundidad de 1.00 m para el transecto 1M6-1M3. Se observa además que en todas las estaciones la concentración de PSR tiende a disminuir progresivamente al aumentar la profundidad, aunque pueden apreciarse diversas desviaciones de esta pauta en las capas más superficiales de algunas estaciones (1M4, 1M2, 1M1 y 1M5).

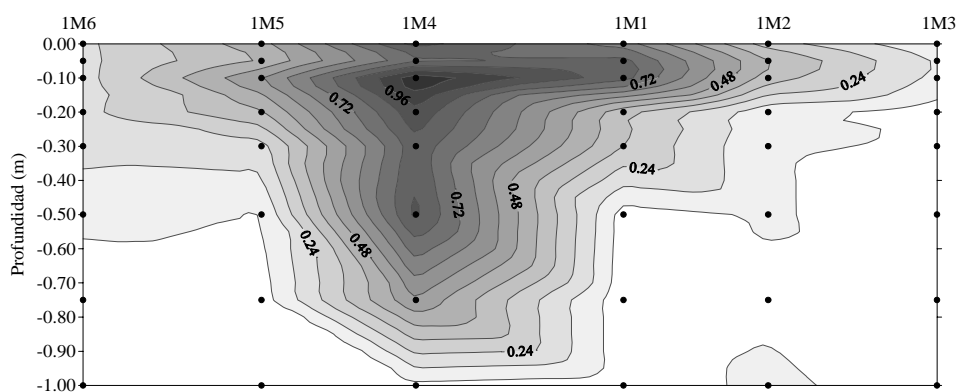


Figura 4.1.35. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el del transecto 1M6-1M3.

Así, y como sucede con otros nutrientes, no solamente la descarga del río tiene influencia en la concentración de PSR. Como se muestra en la figura 4.1.36, la existencia en algunas de las estaciones de unos picos a diversas profundidades nos indica que este nutriente no está afectado solamente por la dilución con las aguas salinas que poseen menor concentración. Existen otros procesos de diferente naturaleza que hacen aumentar o disminuir su concentración y que provocan que las concentraciones de PSR se alejen en mayor o menor medida del comportamiento conservativo que se daría en una mezcla física ideal, como se comprueba en la figura 4.1.37.

En la estación 1M8, la de mayor influencia estuarina, encontramos una concentración mínima relativa a la profundidad de 0.05 m y un máximo a 0.50 m (figura 4.1.36). Ya comentamos en el apartado dedicado al nitrógeno, la gran turbulencia que se genera en esta estación y el shock salino adicional. El fitoplancton de agua dulce que llega a este ambiente más salino, muere, sedimenta y provoca que el fósforo orgánico presente en estos organismos pase al zooplancton al ser consumido y posteriormente sea eliminado como fosfatos inorgánicos con sus excreciones. Este máximo también puede llegar a verse en la estación 1M4 a las mismas profundidades.

También se producen diversas desviaciones a la profundidad de 0.05 m en las estaciones 1M2, 1M7 (de poca magnitud) y 1M3, a la profundidad de 0.10 m en 1M1 y 1M5 y en la capa de agua más profunda en la estación 1M2, que pueden ser aumentos de concentración en estos puntos o disminuciones mayores de lo esperado en los inmediatamente superiores.

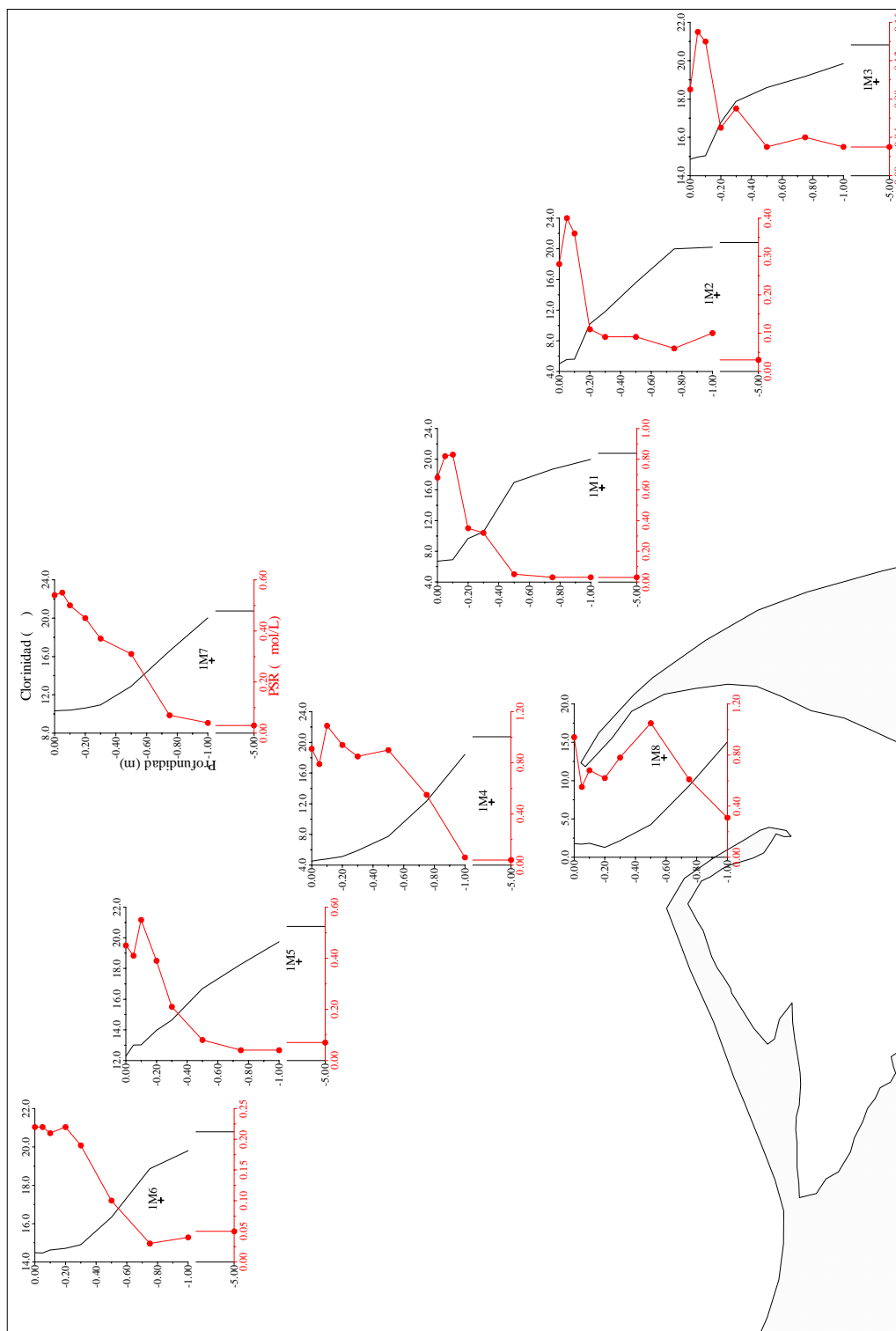


Figura 4.1.36. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 1.

Todos estas desviaciones se observan en la figura 4.1.37, en las capas de agua de menor clorinidad de las estaciones 1M4, 1M2, 1M1, 1M5 y 1M3, y en la estación 1M8. Estas podrían ser aumentos de concentración debidos a la hidrólisis química o enzimática de las formas orgánicas disueltas, desorción de partículas suspendidas y/o excreción de autótrofos y heterótrofos, o mayores pérdidas en los puntos inmediatamente superiores debidas a una mayor absorción. Pero en

general, y como se observa en esta figura 4.1.37, en todas las estaciones se dan pérdidas más o menos pronunciadas en la mezcla estuarina.

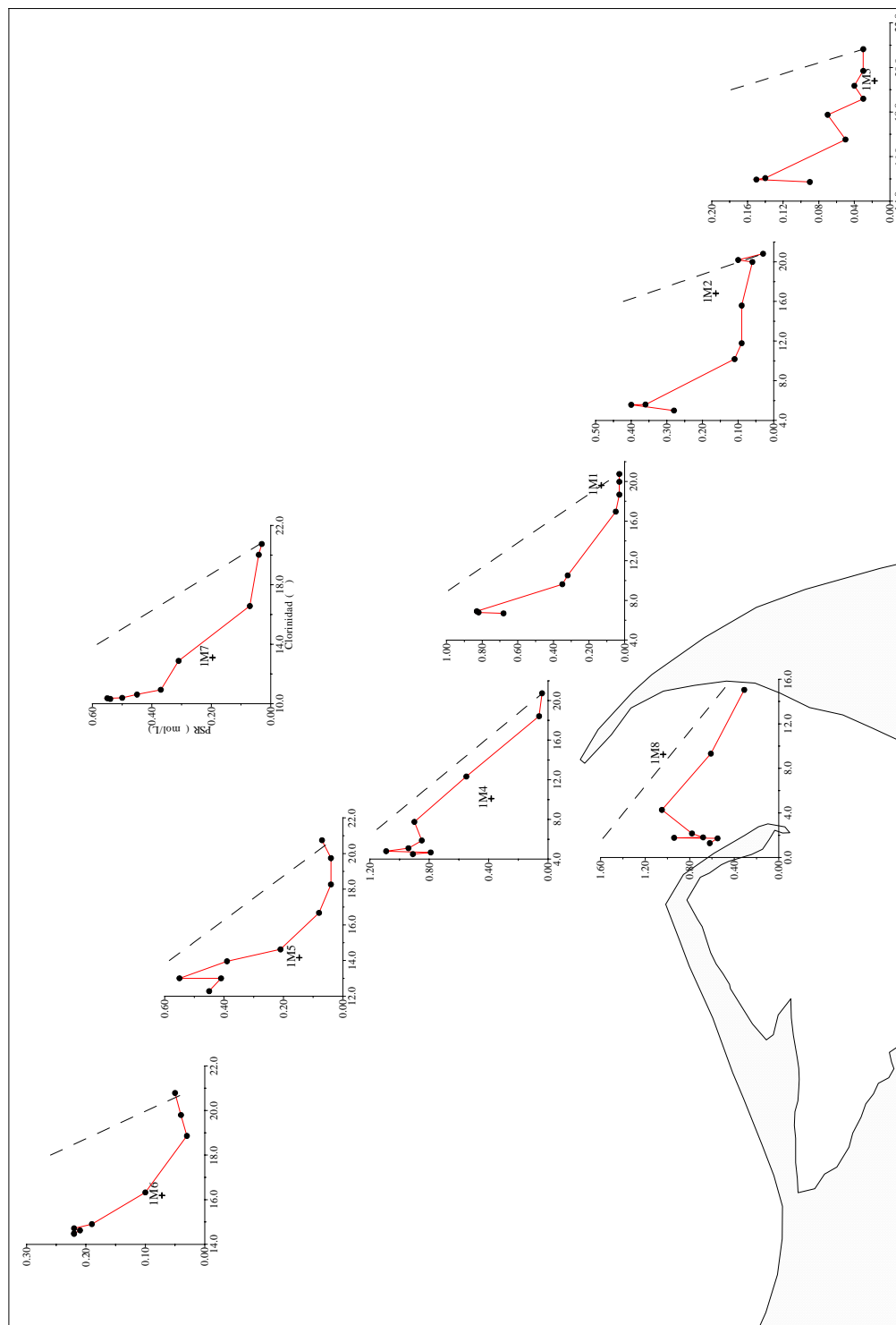


Figura 4.1.37. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

Estas pérdidas son debidas sobre todo a que el consumo y asimilación del fosfato por parte del fitoplancton y las comunidades bacterianas predomina sobre otro tipo de procesos que aumentan su concentración, como también apuntan Morris et al. (1995) en la pluma del río Humber en primavera, Pitkanen y

Tamminen (1995) para el este del golfo de Finlandia y Naudin et al. (2001) para la pluma del Ródano.

Estas pérdidas generalizadas son mucho más pronunciadas en la capa de agua de mayor clorinidad, como se observa en la figura 4.1.38, donde se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla englobando las 8 estaciones de la pluma estuarina. Este es el comportamiento que cabía esperar de este nutriente ya que en el Mediterráneo éste es el limitante de la biomasa planctónica (Deya, 1981; Krom et al., 1991).

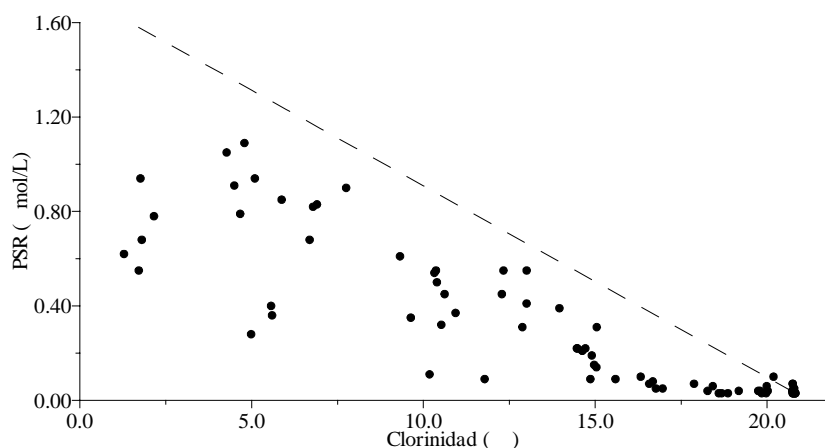


Figura 4.1.38. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 1.

4.1.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

Este parámetro incluye todas las especies disueltas de fósforo, siendo por tanto la suma del inorgánico (asimilable a PSR) y del orgánico. Por ello, todos los procesos involucrados en el ciclo del PSR también tienen cabida en el del PDT. Los procesos relacionados con el ciclo del PDT se esquematizan en la figura 4.1.39.

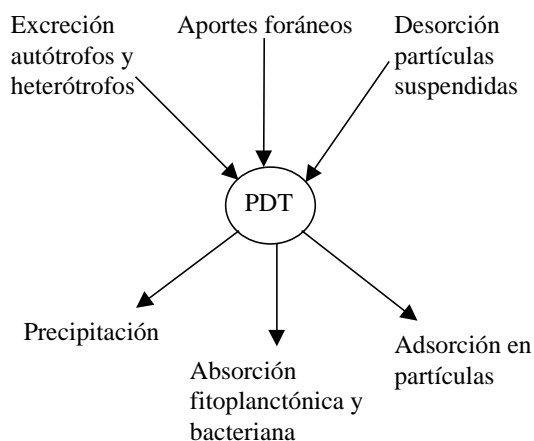


Figura 4.1.39. Procesos relacionados con el ciclo del PDT.

Así, los procesos que pueden llegar a disminuir su concentración son los mismos que se comentaron para el PSR, asimilación por parte del fitoplancton, precipitación y adsorción. En cambio, los procesos que pueden afectarle positivamente serían las excreciones de autótrofos y heterótrofos, la desorción de partículas suspendidas y los aportes bentónicos debidos a la mineralización de la materia orgánica y/o a procesos de adsorción/desorción.

La concentración de PDT en este muestreo varía desde unos máximos de 1.25 $\mu\text{mol/L}$ en 1M8 a 0.20 y 0.30 m de profundidad y de 1.29 $\mu\text{mol/L}$ en 1M4 a 0.30 m, hasta unos valores mínimos inferiores a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en las estaciones 1M4, 1M1, 1M7, 1M6 y 1M3 a las mayores profundidades. En la tabla 4.1.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	1.25	-0.20, -0.30	0.42	-1.00
1M4	1.29	-0.30	<0.03	-1.00, -5.0
1M2	0.79	-0.05	0.08	-0.75, -5.0
1M1	1.06	0.00	<0.03	-0.75, -5.0
1M7	0.64	-0.20	<0.03	-5.0
1M5	0.81	-0.05	0.03	-0.75
1M6	0.52	0.00, -0.10	<0.03	-5.0
1M3	0.25	0.00	<0.03	-0.50

Tabla 4.1.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Como era de esperar, y al igual que ocurre con otros nutrientes y en concreto con el PSR, las estaciones 1M8 y 1M4 son las que poseen mayor concentración de PDT al tener mayor influencia continental. Al alejarnos de la boca del río estas concentraciones van disminuyendo, como se observa en la figura 4.1.40, al disminuir la influencia continental. Así, al movernos hacia los extremos de la pluma (1M6 y 1M3), su concentración va disminuyendo debido en gran parte a la dilución con las aguas salinas de menor concentración.

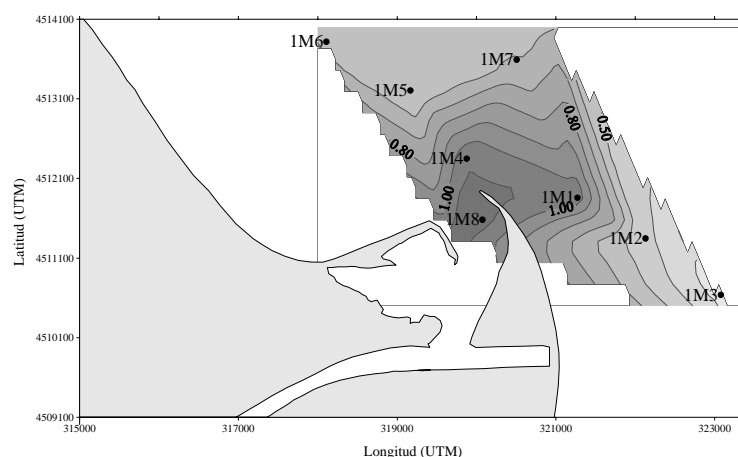


Figura 4.1.40. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 1.

En la figura 4.1.41 podemos observar la pauta general de disminución de la concentración de PDT con la profundidad, donde se muestra un corte vertical de la columna de agua hasta la profundidad de 1.00 m para el transecto 1M6-1M3.

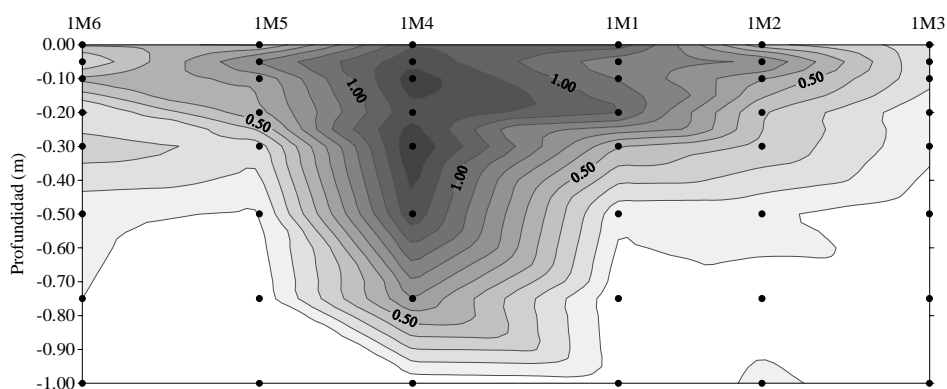


Figura 4.1.41. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 1M6-1M3.

Al igual que ocurre con otros nutrientes, la concentración de PDT sigue una pauta bastante clara con la profundidad en todas las estaciones. Su concentración tiende a disminuir con la profundidad y por tanto con la clorinidad, como podemos comprobar en la figura 4.1.41. De todas maneras, y al igual que en el caso del PSR, no solamente la descarga del río tiene influencia en la concentración de PDT, como posteriormente veremos.

En la figura 4.1.42 se ha representado los perfiles verticales del PDT en cada una de las estaciones. La existencia en algunas de las estaciones de unos picos de PDT a diversas profundidades nos indica que este nutriente no está afectado solamente por la dilución con las aguas salinas. Éstos se encuentran sobre todo en las capas de agua más superficiales, en 1M8 (0.20 m y 0.30 m), 1M4 (0.10 m y 0.30 m), 1M2 (0.05 m), 1M1 (0.20 m), 1M7 (0.20 m y 0.50 m),

1M5 (0.05 m), 1M6 (0.10 m y 0.30 m), 1M3 (0.10 m y 0.30 m). Estas variaciones podrían deberse a los movimientos de los organismos planctónicos y a los efectos de la actividad diferencial de estos en la parte más superficial de la columna de agua, dada la reducida escala del ámbito espacial que estamos analizando, a la muerte de diversos organismos y posterior regeneración del fósforo contenidos en éstos y/o a la excreción de organismos autótrofos y heterótrofos.

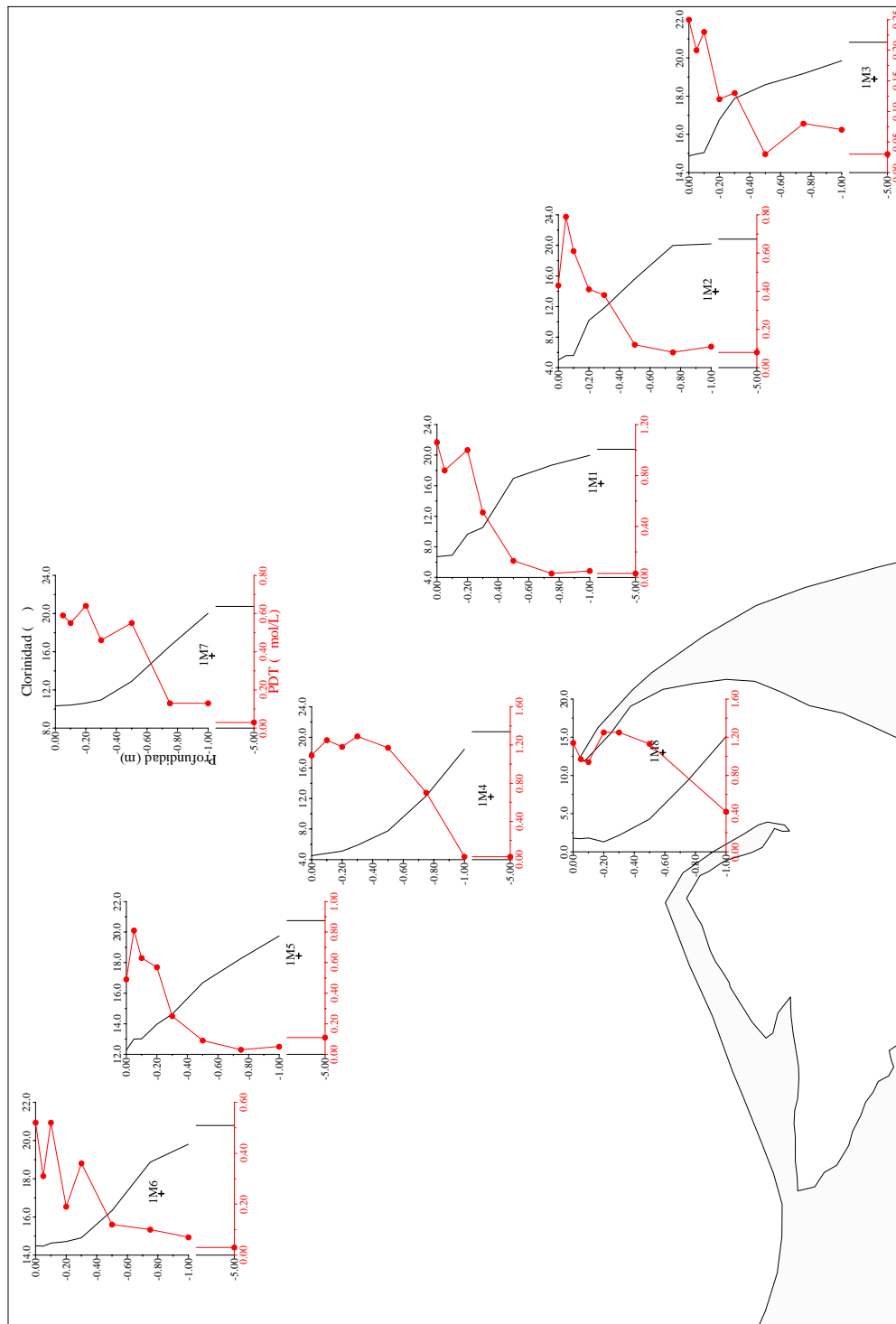


Figura 4.1.42. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 1.

En la figura 4.1.43 se ha representado la concentración de PDT frente a la clorinidad para cada una de las estaciones. Su concentración disminuye al aumentar la clorinidad en todas las estaciones, pero en todas ellas se producen desviaciones de esta pauta en las capas menos salinas, que en general no coinciden con las que se dan en el PSR. Las excepciones son las estaciones 1M2 en todo el rango de clorinidad y 1M5 y 1M3 en las capas más salinas.

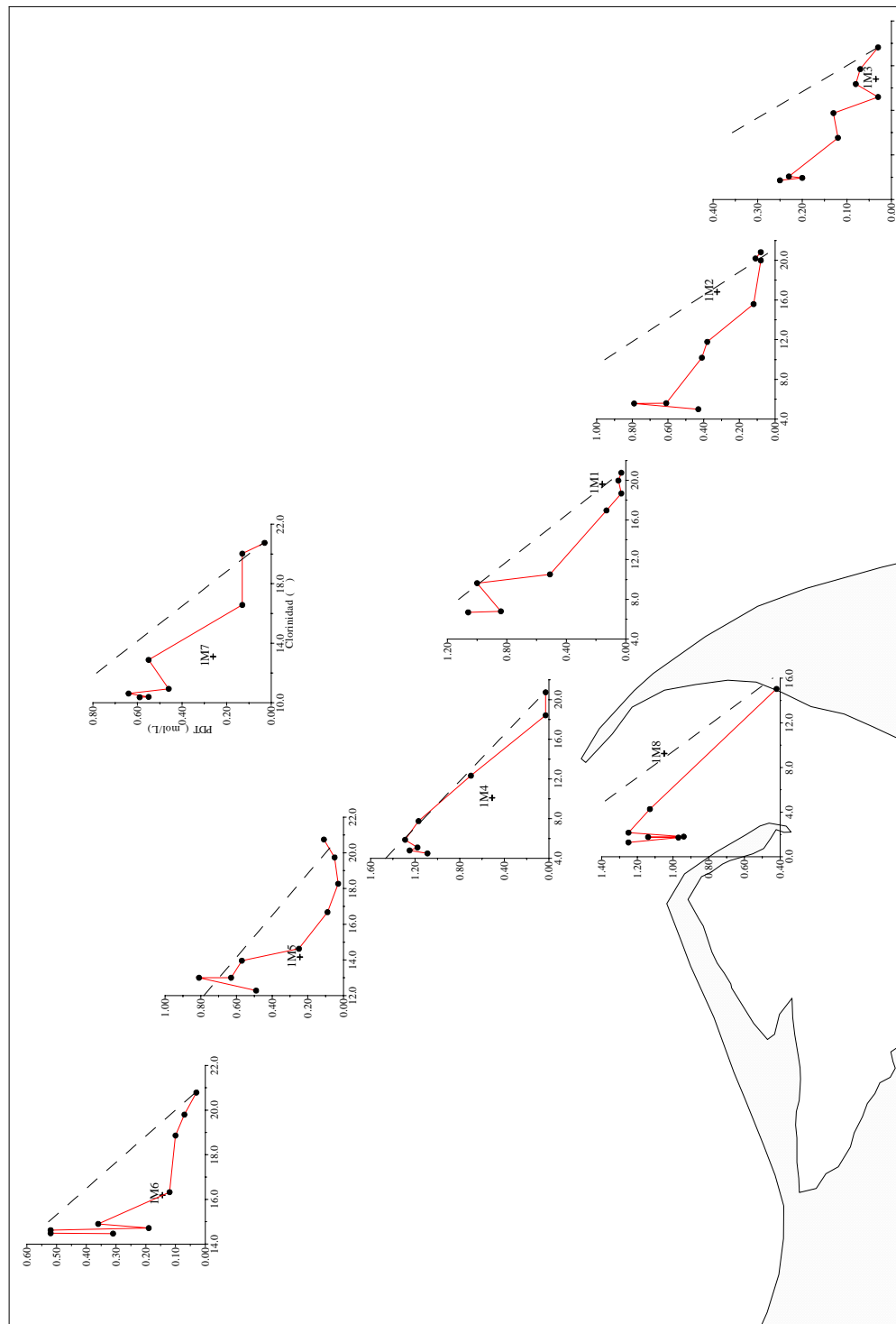


Figura 4.1.43. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

Con todo esto, y como se aprecia en esta figura 4.1.43, el comportamiento general en la mezcla estuarina no puede considerarse conservativo. En todas las estaciones observamos pérdidas de diferente magnitud en el proceso de mezcla, igual que ocurría en el PSR. Estas pérdidas en el PDT cabe achacarlas a la predominancia, sobre otro tipo de procesos, de la asimilación por parte del fitoplancton, pues hemos de recordar que aunque el fitoplancton absorbe preferentemente las formas inorgánicas (ortofosfato), algunas especies son capaces de utilizar fosfatos orgánicos disueltos, tanto en sus estados normales como deficientes en fósforo (Riley y Chester, 1971).

Estas pérdidas se observan claramente en la figura 4.1.44, donde se ha representado el comportamiento global en toda la pluma. Es de destacar que aunque el comportamiento general es de pérdidas, se observa como era de esperar que la mayoría de las muestras quedan más cercanas a la línea de mezcla ideal que el PSR, sobre todo en la zona de menor clorinidad (hasta 14‰). Sin embargo, y como ya se vio para el PSR, en la zona más salina se producen pérdidas acusadas llegando el PDT a límites cercanos al agotamiento.

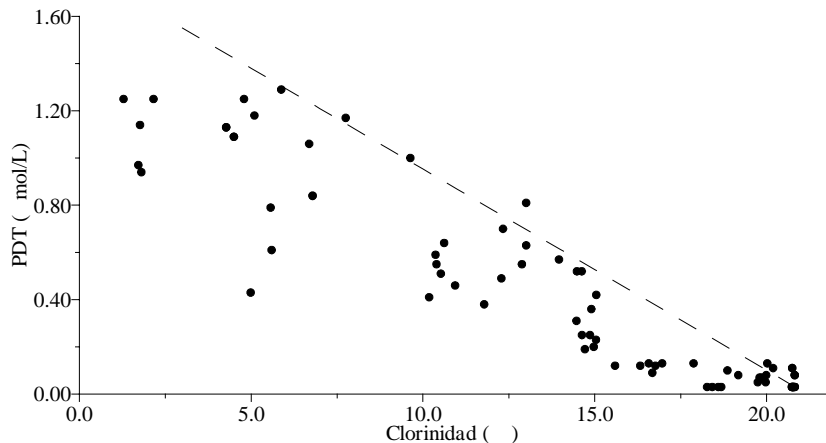


Figura 4.1.44. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 1.

Hemos de recordar que el PDT engloba tanto a las formas disueltas orgánicas como a las inorgánicas, con lo que las desviaciones en las pautas generales de disminución de las concentraciones al aumentar la profundidad y la clorinidad pueden deberse tanto al PSR como al POD. Así, si comparamos las figuras 4.1.43 (perfiles verticales de PDT) y 4.1.36 (perfiles verticales de PSR) observamos que algunas de las desviaciones que se producen en el PDT coinciden con picos de PSR y otras no. En general se puede decir que en las estaciones de

mayor influencia del río Ebro (1M8, 1M4 y 1M2), los cambios en el PDT son sobre todo debidos al PSR por la similitud en sus perfiles. En cambio, en el resto de estaciones es el POD el que tiene más peso sobre el PDT y el que conduce su comportamiento, ya que aquí el PSR se encuentra cercano al agotamiento.

4.1.9.- Fósforo Total (PT)

La concentración de PT aumentará cuando exista cualquier tipo de aporte foráneo (resuspensión, aportes fluviales,...), y en cambio, disminuirá cuando se produzca una sedimentación o una salida fuera del área (Figura 4.1.45).

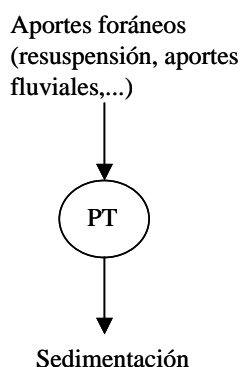


Figura 4.1.45. Procesos relacionados con el ciclo del PT.

La concentración de PT posee un rango de variación en este muestreo desde un máximo de 2.35 $\mu\text{mol/L}$ a la profundidad de 0.30 m en la estación 1M8, hasta un mínimo de 0.06 $\mu\text{mol/L}$ a 5.0 m en 1M7. En la tabla 4.1.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	2.35	-0.30	0.95	-0.75
1M4	1.95	-0.05	0.11	-5.0
1M2	1.60	0.00	0.09	-5.0
1M1	1.46	-0.10	0.28	-5.0
1M7	1.03	-0.05	0.06	-5.0
1M5	1.27	-0.10	0.07	-5.0
1M6	0.78	-0.30	0.10	-5.0
1M3	0.79	-0.10	0.11	-5.0

Tabla 4.1.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Los mayores valores de PT se corresponden con las estaciones más cercanas a la boca del río Ebro (1M8 y 1M4), disminuyendo al hacerlo la influencia continental. En la figura 4.1.46 observamos que la concentración de PT va disminuyendo progresivamente al alejarnos de la boca del río, siguiendo como era de esperar un comportamiento contrario a la clorinidad.

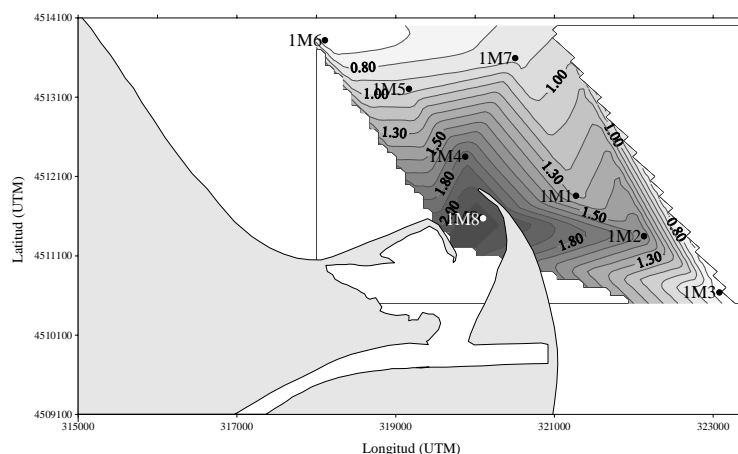


Figura 4.1.46. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 1.

En la figura 4.1.47 se muestra un corte vertical de la columna de agua hasta la profundidad de 1.00 m para el transecto 1M6-1M3, donde podemos comprobar que, al igual que ocurre con otros nutrientes, la concentración de PT disminuye al aumentar la profundidad.

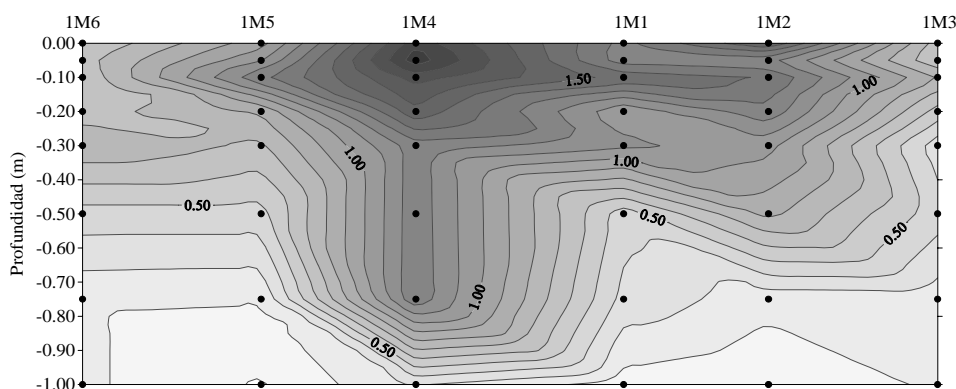


Figura 4.1.47. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 1M6-1M3.

De todas maneras, y al igual que en el caso de otros nutrientes, no solamente la descarga del río parece tener influencia en la concentración de PT. En la figura 4.1.48 se ha representado los perfiles verticales de PT en cada una de las estaciones, donde la existencia en algunas de ellas de unos picos a diversas profundidades nos indica que el PT no está afectado solamente por la dilución con las aguas salinas. Estas desviaciones se encuentran en 1M8 (0.05-0.30 m), 1M4

(0.00-0.05 m), 1M2 (0.00-0.10 m), 1M1 (0.10-0.30 m), 1M7 (0.00-0.05 m), 1M5 (0.00-0.10 m), 1M6 (0.00-0.30 m) y 1M3 (0.10-0.50 m).

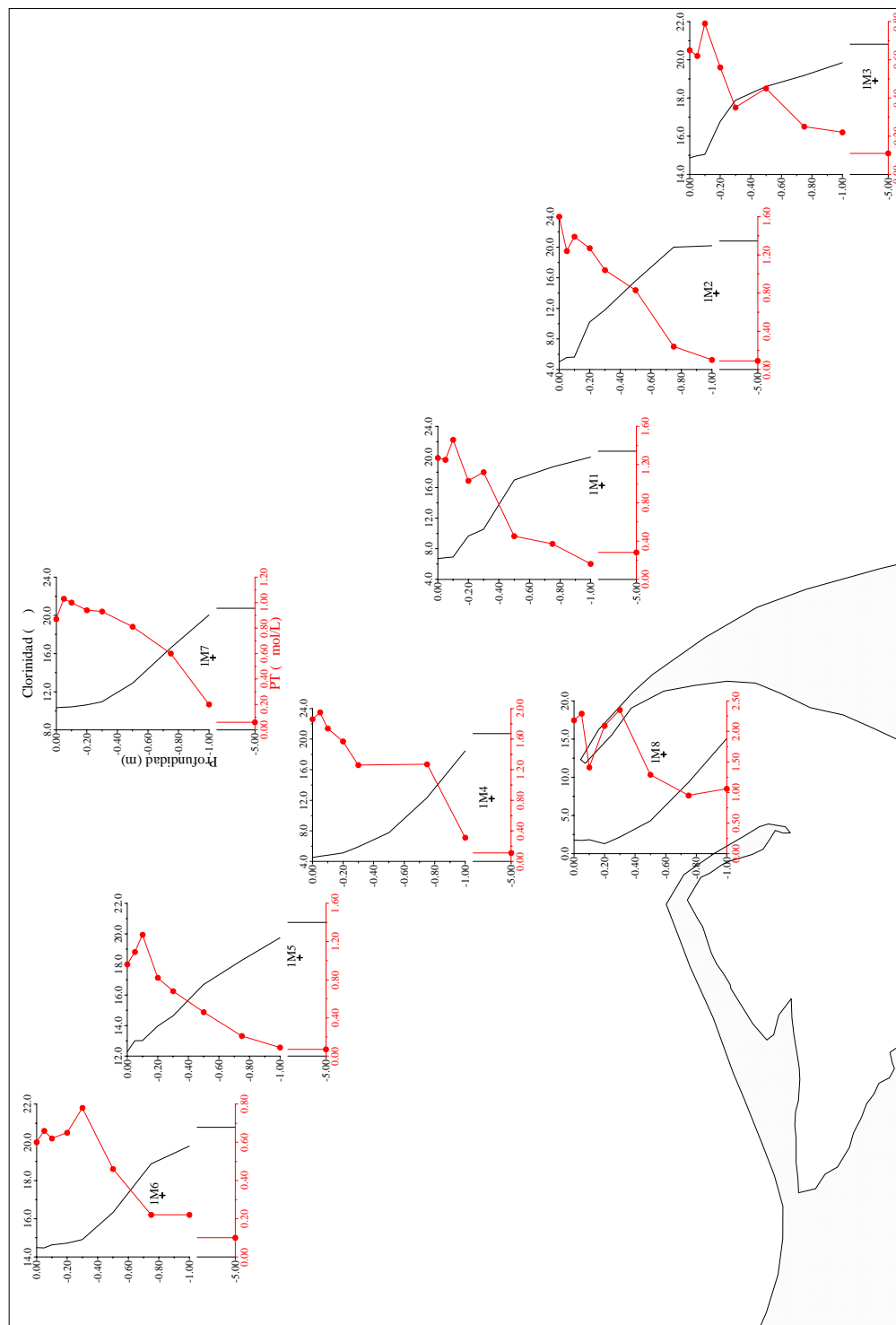


Figura 4.1.48. Perfiles verticales de PT. Muestreo 1.

En general, en todas las estaciones la concentración de PT disminuye linealmente al aumentar la clorinidad, como se observa en la figura 4.1.49, excepto en la de mayor influencia fluvial (1M8) en la que se llega a apreciar una brusca disminución de la concentración probablemente debida a la sedimentación.

En cambio, en el resto de estaciones la concentración de PT disminuye de manera casi lineal con la clorinidad, es decir, que los procesos que aportan PT a la columna de agua son equiparables a los que lo consumen.

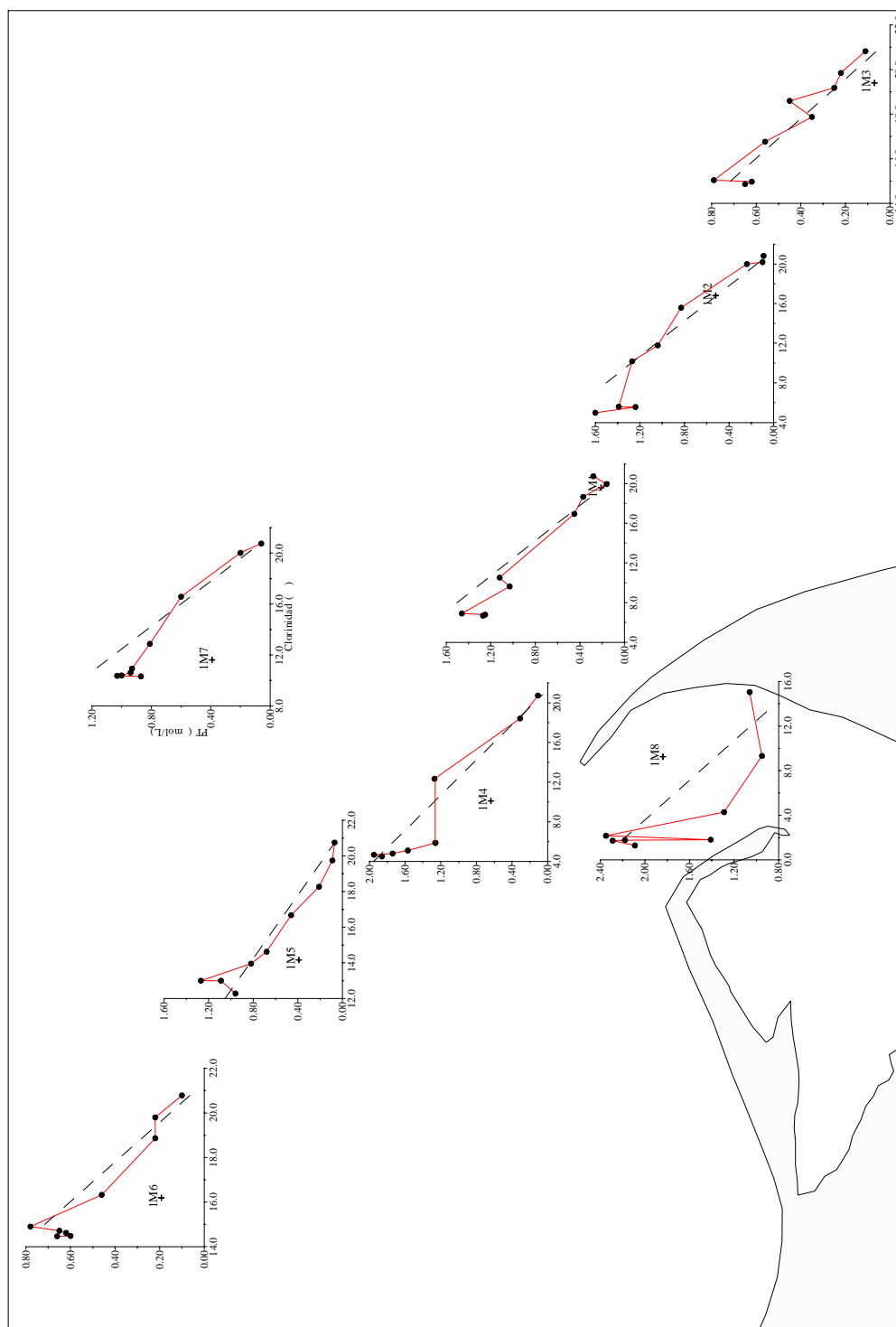


Figura 4.1.49. Comportamiento del PT en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

En la figura 4.1.50 se ha representado la variación global del PT con la clorinidad en toda la pluma estuarina, donde se observa claramente una

disminución casi lineal con la clorinidad, es decir, que los procesos que aportan PT a la columna de agua son equiparables a los que lo consumen.

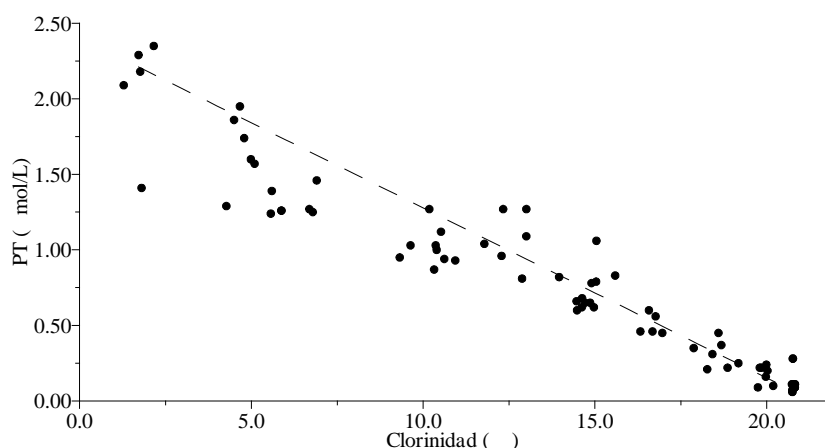


Figura 4.1.50. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 1.

Al igual que en el caso del PSR y del PDT, las desviaciones de la pauta general de disminución con el aumento de profundidad y clorinidad se encuentran a nivel superficial y pueden ser debidos a desviaciones reales en las formas particuladas y/o disueltas, pero no hay que olvidar el error analítico que puede llegar a cometerse en la determinación de este parámetro, sobre todo en las formas particuladas debido al método de digestión utilizado. Por ello, las desviaciones que se producen en las capas más superficiales y de menor clorinidad, y que en general no se corresponden con desviaciones del mismo sentido en el PDT (figura 4.1.42), pueden ser achacadas tanto al movimiento de los distintos organismos como a errores analíticos.

4.1.10.- Ácido Ortosilícico

La concentración de este nutriente aumentará por la existencia de procesos como la disolución de los silicatos de la materia suspendida, la redisolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas y los aportes bentónicos provocados por la disolución de la sílice particulada en los sedimentos. En cambio, la precipitación formando sílice mineral suspendida y la absorción por diatomeas, silicoflagelados, radiolarios y esponjas, provocarán una disminución en su concentración. Todos estos procesos quedan esquematizados en la figura 4.1.51. Como ocurre con los demás nutrientes, el que predomine unos procesos u otros determinará en gran parte el comportamiento en la mezcla.

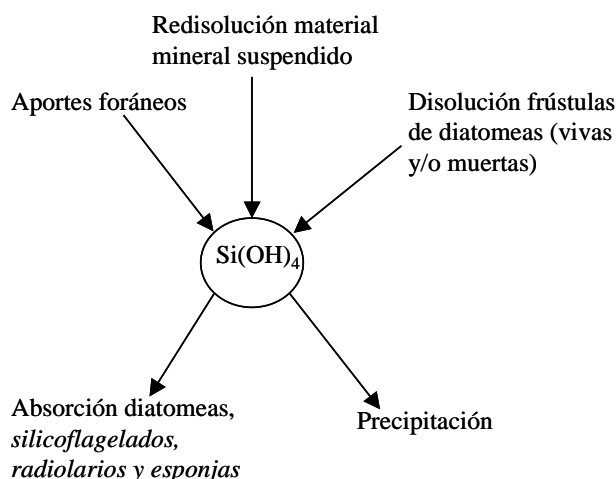


Figura 4.1.51. Procesos relacionados con el ciclo del ácido ortosilícico.

La concentración de ácido ortosilícico en este muestreo varía desde un máximo de 31.0 $\mu\text{mol/L}$ a 0.10 m de profundidad en la estación 1M8, hasta un mínimo con un valor inferior a 0.1 $\mu\text{mol/L}$ en los puntos situados a 0.75, 1.00 y 5.0 m de profundidad en todas las estaciones, excepto en 1M8. En la tabla 4.1.10 se muestra los valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
1M8	31.0	-0.10	8.4	-1.00
1M4	27.0	-0.10	<0.1	-1.00, -5.0
1M2	19.8	-0.05	<0.1	-0.75, -1.00, -5.0
1M1	19.7	-0.10	<0.1	-0.75, -1.00, -5.0
1M7	16.0	0.00	<0.1	-1.00, -5.0
1M5	13.3	0.00	<0.1	-0.75, -1.00, -5.0
1M6	9.1	0.00	<0.1	-0.75, -1.00, -5.0
1M3	7.2	-0.05	<0.1	-0.75, -1.00, -5.0

Tabla 4.1.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Como era de esperar, y al igual que ocurre con el resto de los nutrientes, la estación 1M8 es la que posee mayor concentración de ácido ortosilícico al ser la de mayor influencia fluvial. Esta concentración disminuye progresivamente al hacerlo la influencia continental, como se observa tanto en la distribución horizontal (figura 4.1.52) como en la vertical (figura 4.1.53).

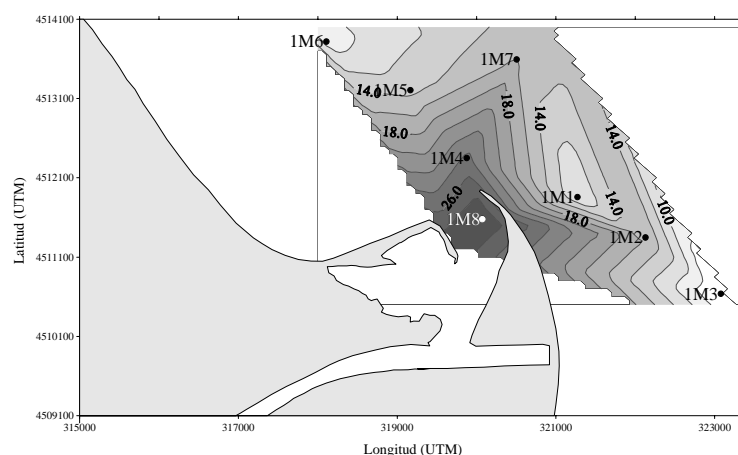


Figura 4.1.52. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 1.

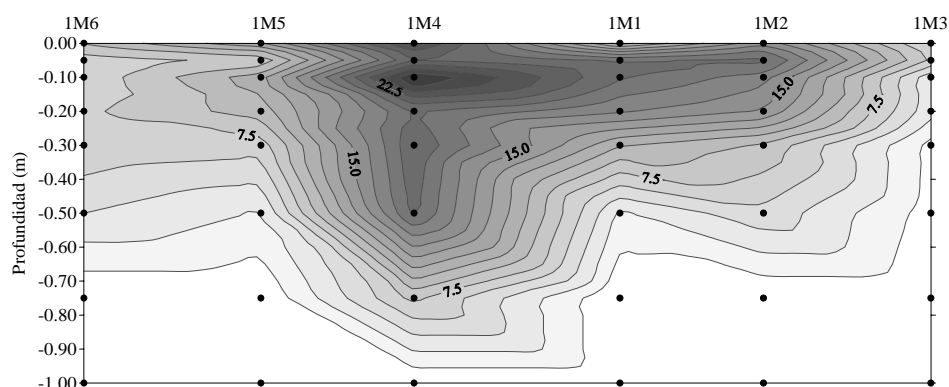


Figura 4.1.53. Distribución espacial de ác.ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 1M6-1M3.

En la figura 4.1.53 podemos observar, como sucede con otros nutrientes, menores valores de ácido ortosilícico en la estación 1M1 que en 1M2, lo cual se debe indudablemente a la menor influencia continental de la primera. Esta anomalía que también se encontró en la clorinidad, es un ejemplo de que la proximidad espacial no siempre es la principal responsable de las concentraciones encontradas en la columna de agua. La compleja hidrodinámica litoral, generada muchas veces, por ejemplo, por cambios en la dirección de los vientos locales, puede dar lugar a situaciones como la que tenemos aquí, en la que un punto más cercano a la desembocadura muestra una influencia continental más reducida que otros más alejados de ella.

Aunque la disminución de la concentración con la profundidad es patente en la capa más profunda, los puntos más superficiales presentan comportamientos que se alejan de esta pauta. De hecho podemos observar en la figura 4.1.54, donde se representan los perfiles en cada una de las estaciones, valores inferiores a los

que cabría esperar de su salinidad, especialmente en los puntos más superficiales, hasta aproximadamente unos 20 cm de profundidad.

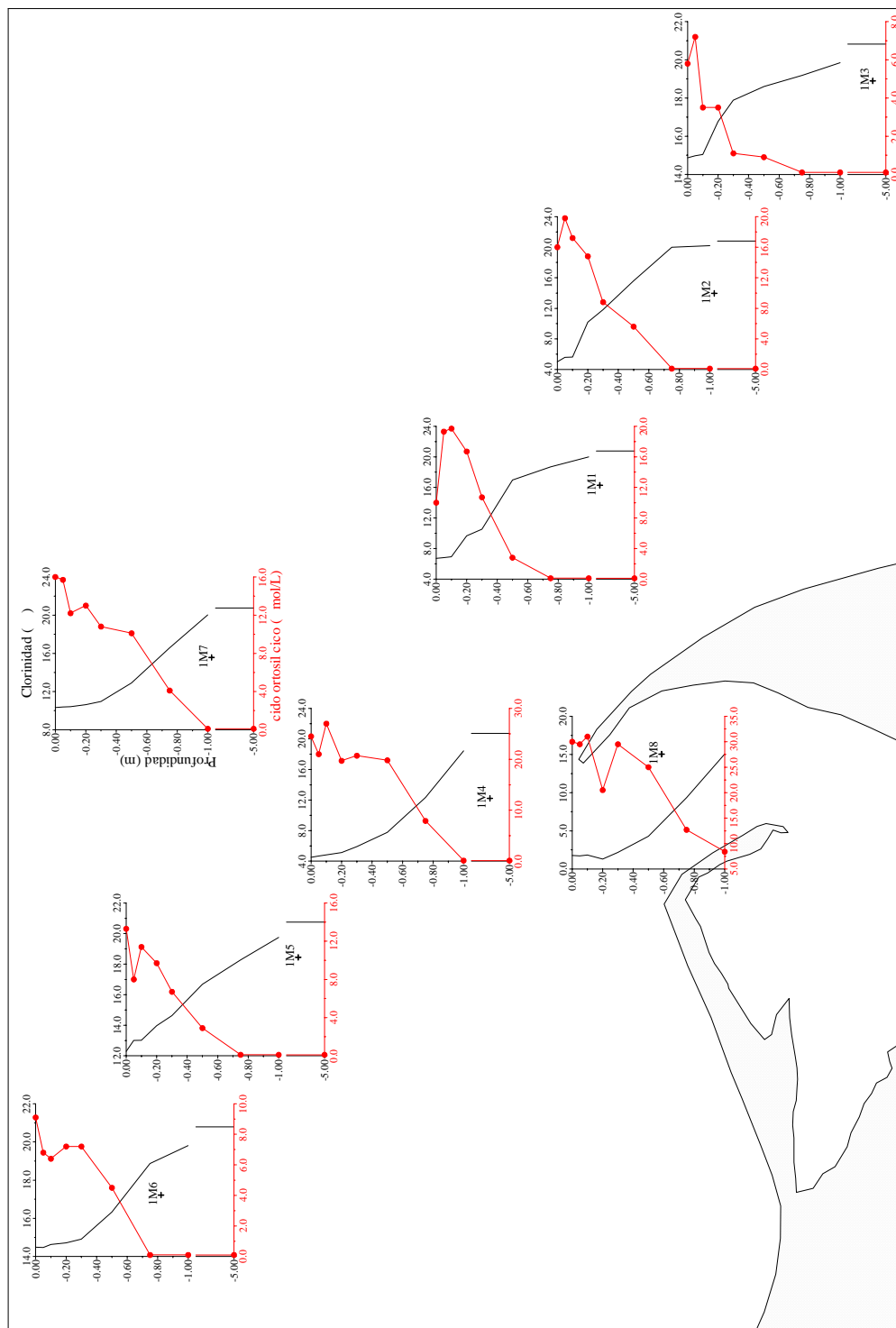


Figura 4.1.54. Perfiles verticales de ciclo ortosil cico. Muestreo 1.

- En las estaciones más occidentales (1M7, 1M5 y 1M6) la concentración disminuye hasta una profundidad aproximada de 0.05-0.10 m, aumentando posteriormente y volviendo a disminuir progresivamente hasta una profundidad de 5.0 m.

- En las estaciones más orientales (1M2, 1M1 y 1M3) la concentración superficial es menor de lo que cabría esperar y se observa un aumento hasta una profundidad aproximada de 0.05-0.10 m disminuyendo posteriormente hasta una profundidad de 5.0 m.

- En las dos estaciones más centrales (1M8 y 1M4) se observa unos perfiles intermedios, siendo más similares a los que se encuentran en las estaciones más occidentales.

Estas variaciones superficiales con la profundidad probablemente quepa achacarlas a la absorción fitoplanctónica, cuyos movimientos en una capa tan estrecha dificultan una interpretación adecuada, especialmente por la falta de datos bibliográficos.

Estas diferencias entre estaciones en la capa de agua más superficial no se observan a mayor profundidad, pues en todas las estaciones (excepto en 1M8) la concentración de este nutriente disminuye en tal medida que llega al agotamiento incluso a sólo 0.75 m. Esto se debe a los bajos niveles de este nutriente que ya se pueden encontrar a 0.50 m de profundidad, y que provocan que a mayor profundidad la comunidad fitoplanctónica absorba el poco ácido ortosilícico que queda en la columna de agua, llegando incluso al agotamiento, que nos indica la existencia de una floración significativa de diatomeas.

Por todo lo anterior es de prever que en el comportamiento del ácido ortosilícico en la mezcla estuarina, se den discontinuidades especialmente relevantes en los puntos de la capa más superficial, entrando en juego otros procesos distintos a la simple mezcla física entre dos masas de agua de diferente concentración. En la figura 4.1.55 se representa este comportamiento. En las estaciones 1M8, 1M2 y 1M1 y en menor medida en 1M4, 1M6 y 1M3, se observa una disminución acusada de la concentración en las muestras de agua de menor clorinidad, que nos lleva a pensar que realmente se está produciendo una pérdida superficial en la mezcla estuarina. Pérdidas que también pueden observarse en el resto de la columna de agua en estas estaciones y en 1M7 y 1M5, y que parecen ser debidas a que procesos como la precipitación formando sílice mineral suspendida y, con más probabilidad, la absorción por el fitoplancton, retiran más

ácido ortosilícico del que llega a aportarse por la redisolución de las frústulas de las diatomeas y/o del material particulado.

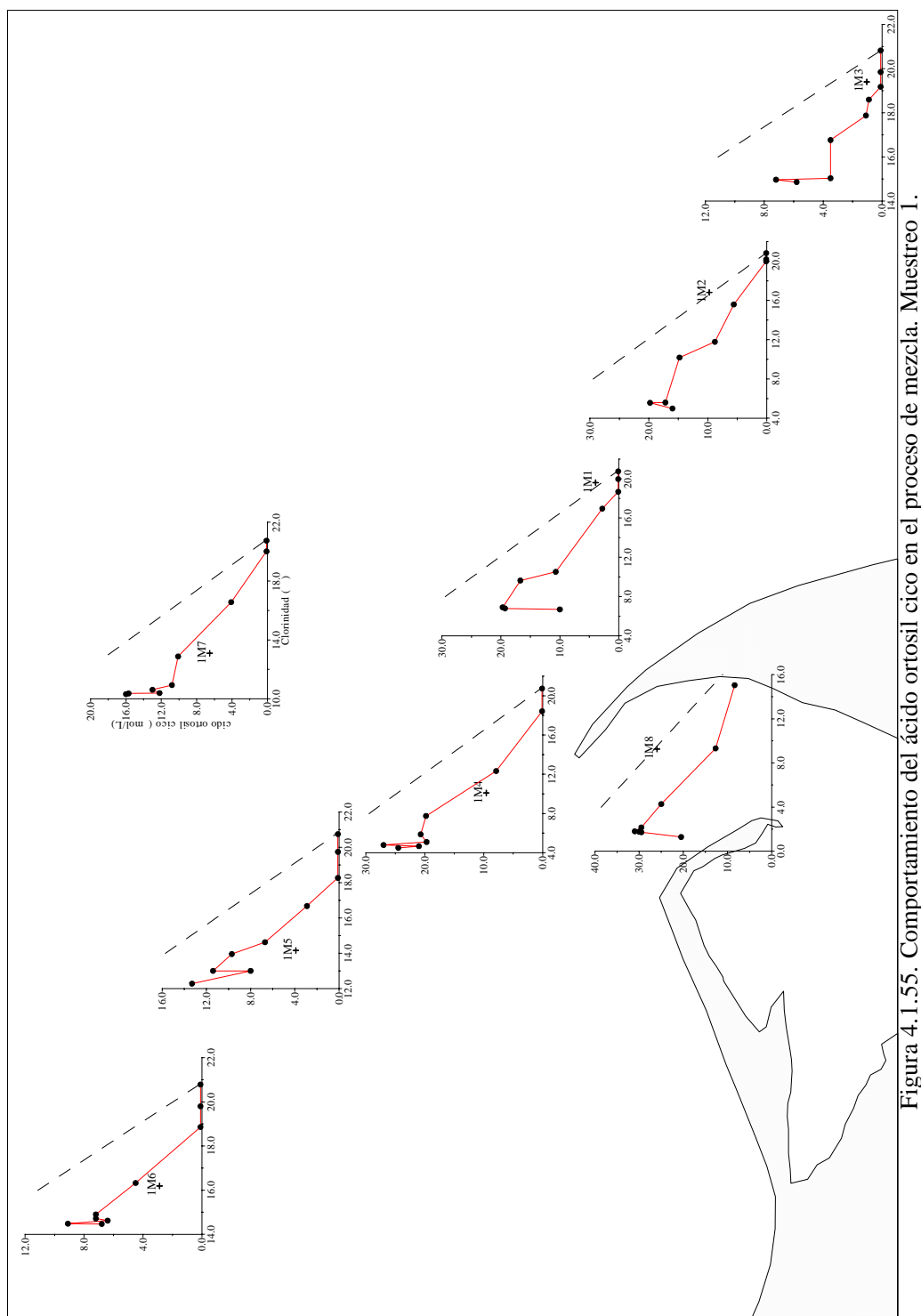


Figura 4.1.55. Comportamiento del ácido ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

El comportamiento global del ácido ortosilícico en la pluma estuarina se representa en la figura 4.1.56. Se observa que este nutriente posee un comportamiento más similar al del fósforo que al del nitrógeno, lo que apoya una vez más la hipótesis de que en la floración del fitoplancton, que ha eliminado o

disminuido el PSR de la columna de agua, las diatomeas tienen un papel significativo. Las pérdidas se hacen más acusadas en la capa de agua de mayor clorinidad sobre todo porque como ya se apuntó anteriormente, a partir de una profundidad de 0.75-1.00 m el ácido ortosilícico llega a límites cercanos al agotamiento. Algo similar se observa en la pluma del río Sena (Francia) donde la intensa asimilación por parte del fitoplancton en primavera genera una gran pérdida en la pluma (Ménèsquen et al., 1995).

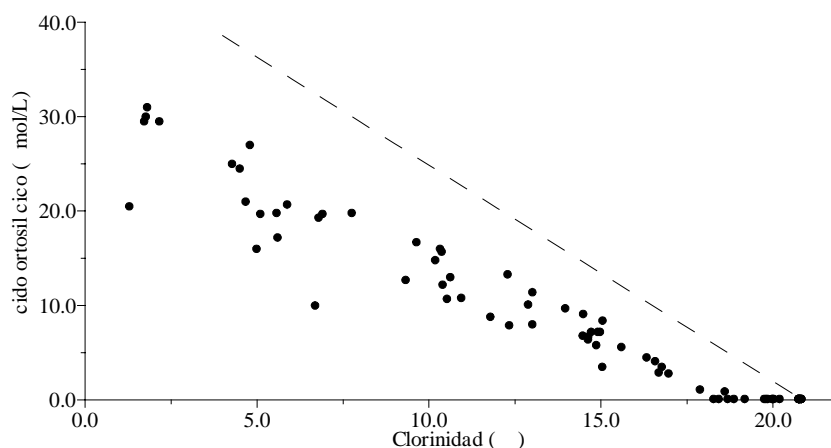


Figura 4.1.56. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 1.

4.1.11.- *Clorofila a*

La clorofila *a* es el pigmento terminal fotosintético en la absorción de la luz, pues aunque la energía haya sido capturada por otros pigmentos, es transferida a la clorofila *a* antes de ser utilizada en las reacciones fotoquímicas (Sakshaug et al., 1997). Por ello, y por que está presente en todos los organismos planctónicos fotosintetizadores (González, 1989), la clorofila *a* suele usarse como una medida de la biomasa fitoplanctónica fotosintéticamente activa (Flemer, 1969; Li y Smayda, 1998; Sakshaug et al., 1997). Aunque la concentración de clorofila puede ser una buena aproximación a la biomasa fitoplanctónica, la relación cuantitativa no es exacta debido a que la cuota celular varía. Esta variación, no sólo entre los distintos grupos y especies, sino también dentro de una misma especie, da variaciones cuantitativamente significativas tanto estacional como incluso diariamente. Estas variaciones intraespecíficas se deben a que los productores primarios están continuamente sujetos a oscilaciones de las condiciones ambientales en el espacio y en el tiempo. Para mantener su productividad han de desarrollar estrategias adaptativas que compensen estos cambios ambientales (Claustre et al., 1994). Así, el fitoplancton ajusta su

composición de clorofila para adaptarse a los cambios en la radiación solar (Chau y Jin, 1998). Es lo que se llama fotoaclimatación (Bricaud et al., 1995; MacIntyre et al., 2002; Zonneveld, 1998). Pero la relación entre la biomasa y la clorofila varía también con el crecimiento de la célula, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura (MacIntyre et al., 2000). La razón de esto es que las poblaciones naturales están formadas por distintas especies, con distintas fases de crecimiento y distintos estados fisiológicos y nutricionales. Todos estos factores influyen en la cuota pigmentaria celular y por tanto en la relación entre la clorofila *a* y la biomasa. Por último hay que tener presente que en puntos cercanos a la costa y con gran cantidad de restos vegetales en la columna de agua, puede existir clorofila *a* de origen no fitoplanctónico o fitoplancton de agua dulce senescente.

Aún con todo lo anterior, la concentración de clorofila *a* podría asimilarse de manera aproximada a la cantidad de biomasa fitoplanctónica existente en la columna de agua. Así, la concentración de clorofila *a* aumentará cuando la cantidad de células fitoplanctónicas aumente, por la resuspensión de células algales (Irigoien y Castel, 1997; Verity et al., 1998) o por el aumento de la irradiación solar y la disminución de la turbidez, que provocan un aumento de la fotosíntesis (Soto et al., 1993; Uncles et al., 1998). En cambio, la concentración de clorofila *a* disminuirá cuando lo haga la cantidad de fitoplancton en el medio, por una disminución de la cantidad de nutrientes disponibles en la columna de agua (Herut et al., 1999), por una disminución de la fotosíntesis debida a un incremento de la turbidez (Uncles et al., 1998), o por la muerte celular de la comunidad fitoplanctónica. Esta muerte celular puede ser debida, entre otros motivos, tanto a un aumento de la biomasa total de zooplancton, que hará aumentar el consumo del fitoplancton (Li y Smayda, 1998), como al estrés provocado por el gradiente de salinidad que se produce en los estuarios y plumas fluviales (Uncles et al., 1998).

En este primer muestreo la concentración de clorofila *a* varía desde unos valores máximos de 22.22 µg/L a la profundidad de 0.20 m en la estación 1M4 y de 21.83 µg/L a 0.05 m en 1M8, hasta un mínimo de 0.21 µg/L a 5.0 m en la estación 1M2. En la tabla 4.1.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila

a encontrados para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)
1M8	21.83	-0.05	8.94	-1.00
1M4	22.22	-0.20	1.46	-5.0
1M2	18.43	-0.20	0.21	-5.0
1M1	15.39	-0.10	1.38	-5.0
1M7	12.34	-0.30	0.73	-5.0
1M5	9.25	-0.05	1.80	-5.0
1M6	7.99	0.00	1.42	-5.0
1M3	8.99	-0.05	0.66	-5.0

Tabla 4.1.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Las mayores concentraciones existentes en las aguas fluviales del río Ebro quedan patentes en los resultados encontrados en este muestreo. Las estaciones donde se encuentra los niveles más altos son las que poseen mayor influencia continental, es decir, 1M8 y 1M4. Al igual que ocurre con los nutrientes, las concentraciones van disminuyendo progresivamente al alejarnos de la boca del río, como se observa en la figura 4.1.57, al ir aumentando la clorinidad y, por tanto, disminuir los niveles de nutrientes al hacerlo los aportes fluviales. Por tanto, su concentración va disminuyendo al movernos hacia los extremos de la pluma (1M6 y 1M3).

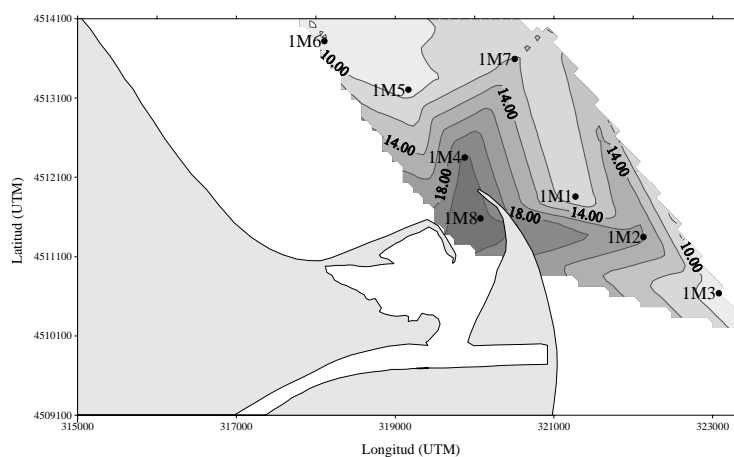


Figura 4.1.57. Distribución superficial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$). Muestreo 1.

Del mismo modo que la concentración disminuye al aumentar la distancia desde la desembocadura, también lo hace al aumentar la profundidad, ya que, como hemos visto anteriormente, también lo hacía la influencia fluvial y el aporte de nutrientes a ella asociado. Esto se puede apreciar en la figura 4.1.58 donde se representa la distribución vertical de la clorofila *a* en el transecto 1M6-1M3. Al igual que ocurría en la distribución de ácido ortosilícico (figura 4.1.53), de nitrito (figura 4.1.25), de PT (figura 4.1.47) y de clorinidad (figura 4.1.8), en los primeros 50 cm de la columna de agua en la estación 1M2 encontramos mayores valores de clorofila *a* que en 1M1, por las mismas razones anteriormente comentadas.

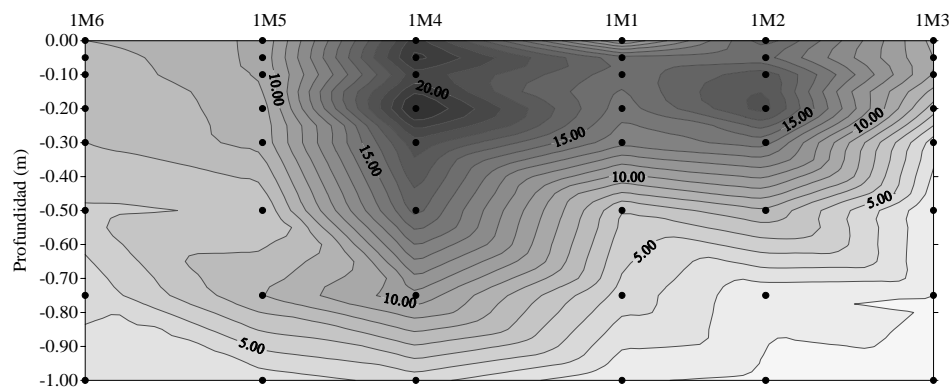


Figura 4.1.58. Distribución espacial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 1M6-1M3.

Como podemos observar en la figura 4.1.58, su concentración parece seguir una pauta bastante clara con la profundidad en todas las estaciones, disminuyendo al aumentar la profundidad y por tanto la clorinidad. Pero como se muestra en la figura 4.1.59, donde se representa con mayor detalle los perfiles encontrados en cada una de las estaciones, esta pauta de disminución con la profundidad no parece estar tan clara.

Aunque en general, se aprecia una tendencia a que los valores de los 30 cm superficiales sean más altos que los más profundos (con excepciones que ya señalaremos) dentro de esta capa superficial las pautas no están tan claras. Esta pauta de concentraciones claramente más elevadas en la capa más superficial se puede apreciar en las estaciones más orientales (1M2, 1M1 y 1M3), donde la clorinidad muestra una estructura de la columna de agua con una marcada estratificación. El aumento de las condiciones de mezcla, especialmente en 1M5, da lugar a que la concentración de clorofila o bien disminuya gradualmente (1M4

y 1M6), o presente un comportamiento sin una pauta clara con valores en los puntos profundos de magnitud similar a los superficiales.

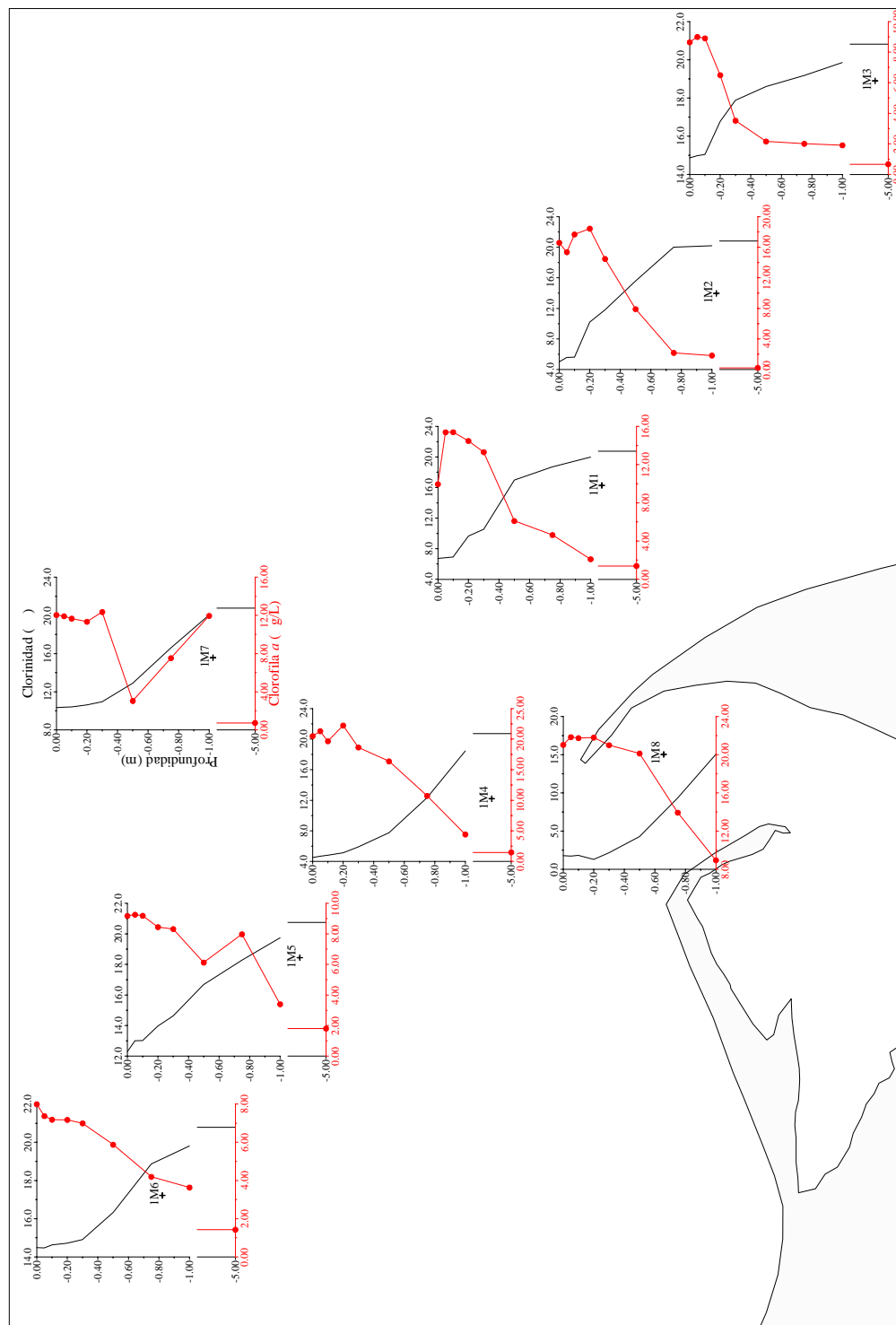


Figura 4.1.59. Perfiles verticales de clorofila *a*. Muestreo 1.

Lógicamente la gran influencia fluvial, y por tanto el elevado aporte de nutrientes en la superficie de 1M8, permite el desarrollo de unas poblaciones fitoplanctónicas mayores que en los niveles más profundos y pobres en nutrientes, con el correspondiente reflejo en el contenido en clorofila. Los valores más bajos

que en superficie se aprecia en 1M2, 1M1 y 1M3, podrían deberse a la inhibición ejercida por la radiación ultravioleta en los primeros centímetros superficiales, aunque el movimiento celular, unido al del zooplancton podrían ser también la causa de esta distribución, como se apunta en Naudin et al., 2001.

En la figura 4.1.60 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones. En dicha figura se ha representado la línea de mezcla de origen fluvial (línea negra), pero el hecho de que en todas las estaciones las muestras queden por encima de esta línea (excepto un par de ellas) nos lleva a sospechar en una mala elección de ésta. Hay que recordar que ésta se calculó tomando como extremo dulce el promedio de las muestras dulces de R1 en esta campaña (3, 4, 5 y 7 de abril), y que las condiciones pueden haber cambiado en mayor o menor medida. Por esto se ha elegido otra línea de mezcla ideal (línea azul) a partir del valor promedio de las muestras más dulces de la estación situada en la boca del río (1M8).

Con esta nueva línea de mezcla ideal se observa algunos pequeños aumentos y/o disminuciones. Son de resaltar, sobre todo, los bajos valores encontrados en las muestras menos salinas de 1M2 y 1M1 y en la estación 1M7 a una clorinidad aproximada de 12‰. Estas disminuciones en la concentración de clorofila *a* podrían achacarse a una disminución del número de células fitoplanctónicas, por el denominado estrés salino, por el consumo por parte del zooplancton, por una disminución de la fotosíntesis, etc (Naudin et al., 2001; Uncles et al., 1998). Por el contrario encontramos valores algo superiores a lo esperado en el resto de estaciones sobre todo en las zonas de mayor clorinidad, resaltando en la estación 1M2 a una clorinidad de 10‰, en la estación 1M7 a una clorinidad aproximada de 20‰ y en 1M5 a una clorinidad aproximada de 18‰. En general, y como anteriormente comentamos, estos aumentos de concentración podrían ser debidos a un desarrollo de la comunidad fitoplanctónica. De todas maneras alguno de estos picos podría haber sido debido a la medición de clorofila *a* proveniente de material no fitoplanctónico o de fitoplancton senescente que sedimenta al ser afectado por el shock salino.

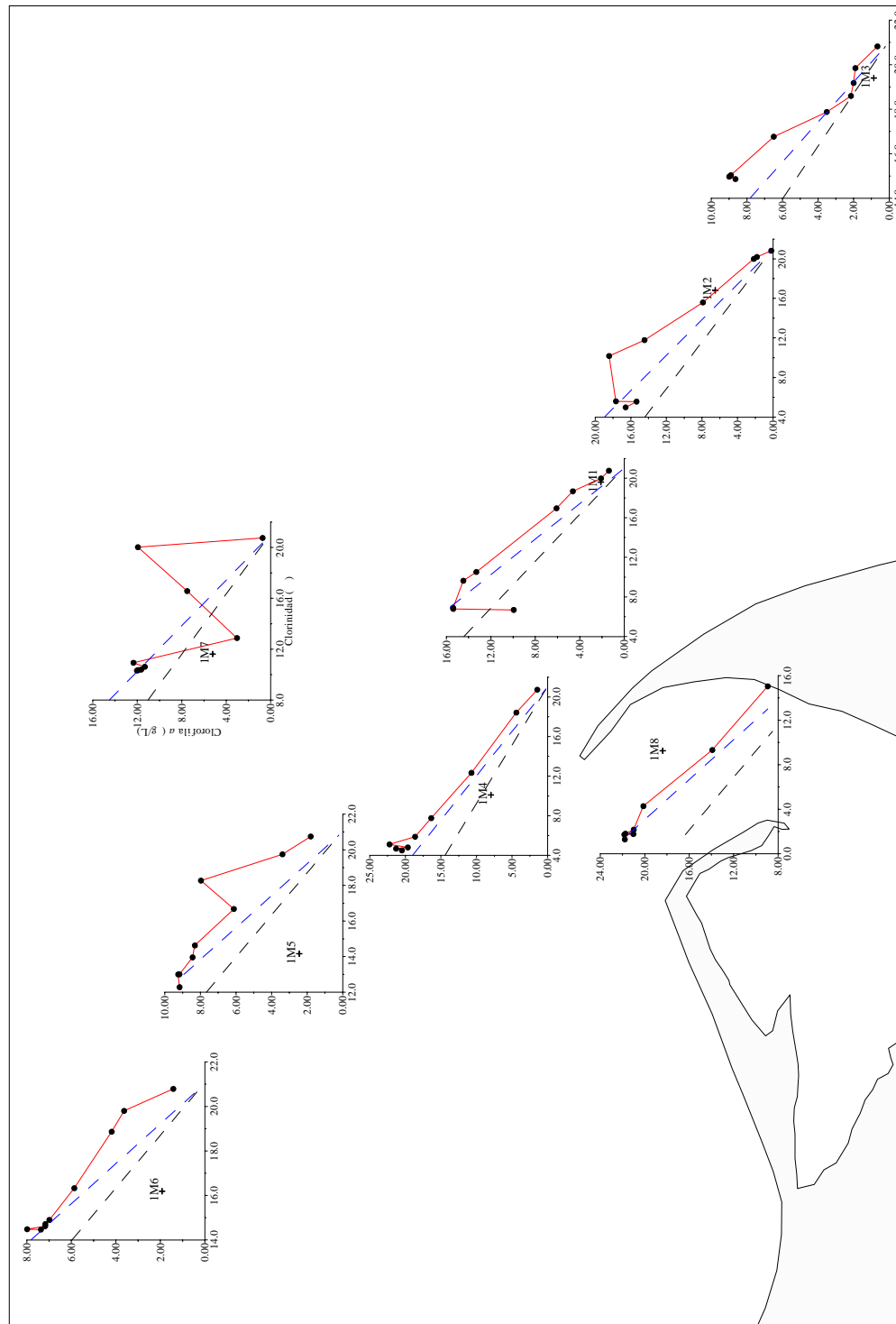


Figura 4.1.60. Variación de la clorofila a con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 1.

En la figura 4.1.61 vemos que en global en la pluma estuarina la concentración disminuye casi linealmente al aumentar la clorinidad, exceptuando unas pocas muestras donde la concentración es mayor o menor de lo que sería de esperar por la simple disminución del número de células fitoplanctónicas de origen fluvial al aumentar la clorinidad.

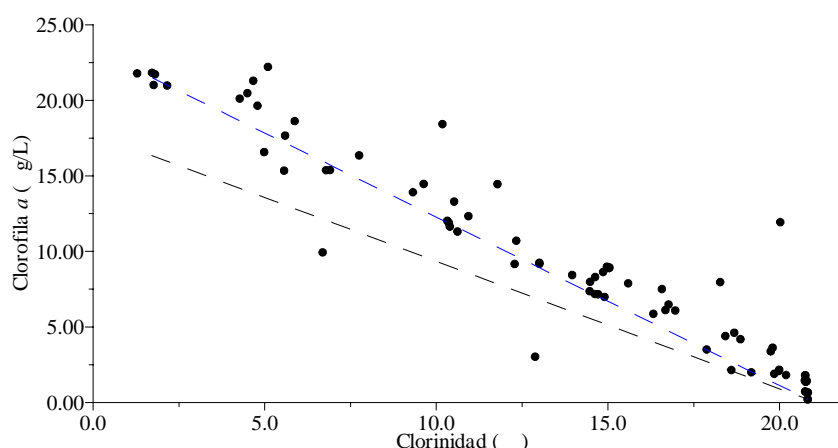


Figura 4.1.61. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 1.

4.1.12.- Relaciones entre nutrientes

Las relaciones que estudiamos en este apartado se han calculado a partir de los nutrientes inorgánicos existentes en disolución, es decir, del nitrógeno inorgánico disuelto (NID), del fósforo soluble reactivo (PSR), y del ácido ortosilícico, y son NID/PSR y NID/Ácido ortosilícico. Como ya se apuntó en el apartado 1.4.1, para establecer qué nutriente puede llegar a limitar el crecimiento del fitoplancton nos basaremos en las desviaciones de la llamada relación de Redfield, que establecía que la relación atómica Si:N:P del fitoplancton es aproximadamente 16:16:1 cuando no hay limitación nutricional. En base al criterio de limitación de nutrientes apuntado por Justic et al. (1995), consideraremos que existe limitación de nitrógeno cuando $N:P < 10$ y limitación de fósforo cuando $N:P > 20$. Para las diatomeas consideraremos que puede existir limitación de ácido ortosilícico cuando $N:Si > 1$.

A la hora de valorar/analizar estas relaciones no hay que olvidar los problemas derivados de las limitaciones analíticas entre las que cabe destacar:

1) La minusvaloración de los valores reales de la relación NID/PSR de los nutrientes disponibles para el fitoplancton. Como apunta Lohrenz et al. (1999), lo que realmente se analiza son las concentraciones de PSR y no de ortofosfato, lo que implica que junto al PO_4^{-3} la medida está valorando al menos parte de los ésteres orgánicos, por lo que no tenemos una medida real de NI/PI. Se podría aducir que éste sería un problema menor ya que la mayor parte, si no todos, de estos ésteres de fósforo podrían ser utilizados por el fitoplancton mediante el

conocido proceso de la hidrólisis externa de los ésteres por fosfatasa exudadas por las células fitoplanctónicas. Pero esta argumentación olvida que también puede utilizar aminoácidos con un proceso similar (Graneli et al., 1999; Mulholland et al., 1998), por no hablar de la urea, que tampoco está incluida en el NID, y que es utilizada por el fitoplancton preferentemente frente a nitrito y nitrato (Berman et al., 1999; Bishop et al., 1984).

2) La existencia de valores por debajo del límite de detección del método analítico utilizado. En estos casos se ha decidido tratar estos datos de la siguiente manera:

a) Cuando ambos nutrientes son menores que su límite de detección se desechará el valor de ese punto en cuestión.

b) Cuando sólo uno de ellos esté por debajo del límite de detección, podremos calcular dicha relación utilizando ese valor del límite de detección, pero el valor de la relación será menor o mayor que ese número calculado.

a) NID/PSR

La relación NID/PSR posee un rango de variación desde un valor máximo de 827.8 localizado en la estación 1M2 a 0.30 m de profundidad, hasta un valor mínimo de 18.0 encontrado en 1M6 a 5.0 m. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.1.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
1M8	238.1	-0.10	137.7	-0.50
1M4	363.3	-1.00	45.0	-5.0
1M2	827.8	-0.30	>30.0	-5.0
1M1	768.0	-0.50	30.0	-5.0
1M7	658.6	-0.75	137.3	-0.05
1M5	547.5	-0.75	18.6	-5.0
1M6	510.0	-0.75	18.0	-5.0
1M3	642.0	-0.20	>43.3	-5.0

Tabla 4.1.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Se observa en general que los valores máximos no se encuentran en superficie como ocurría con las concentraciones de nutrientes. Los mínimos se localizan en general a las mayores profundidades excepto en un par de estaciones (1M8 y 1M7). Esto mismo se aprecia en la figura 4.1.62, donde se ha representado los perfiles para cada una de las estaciones.

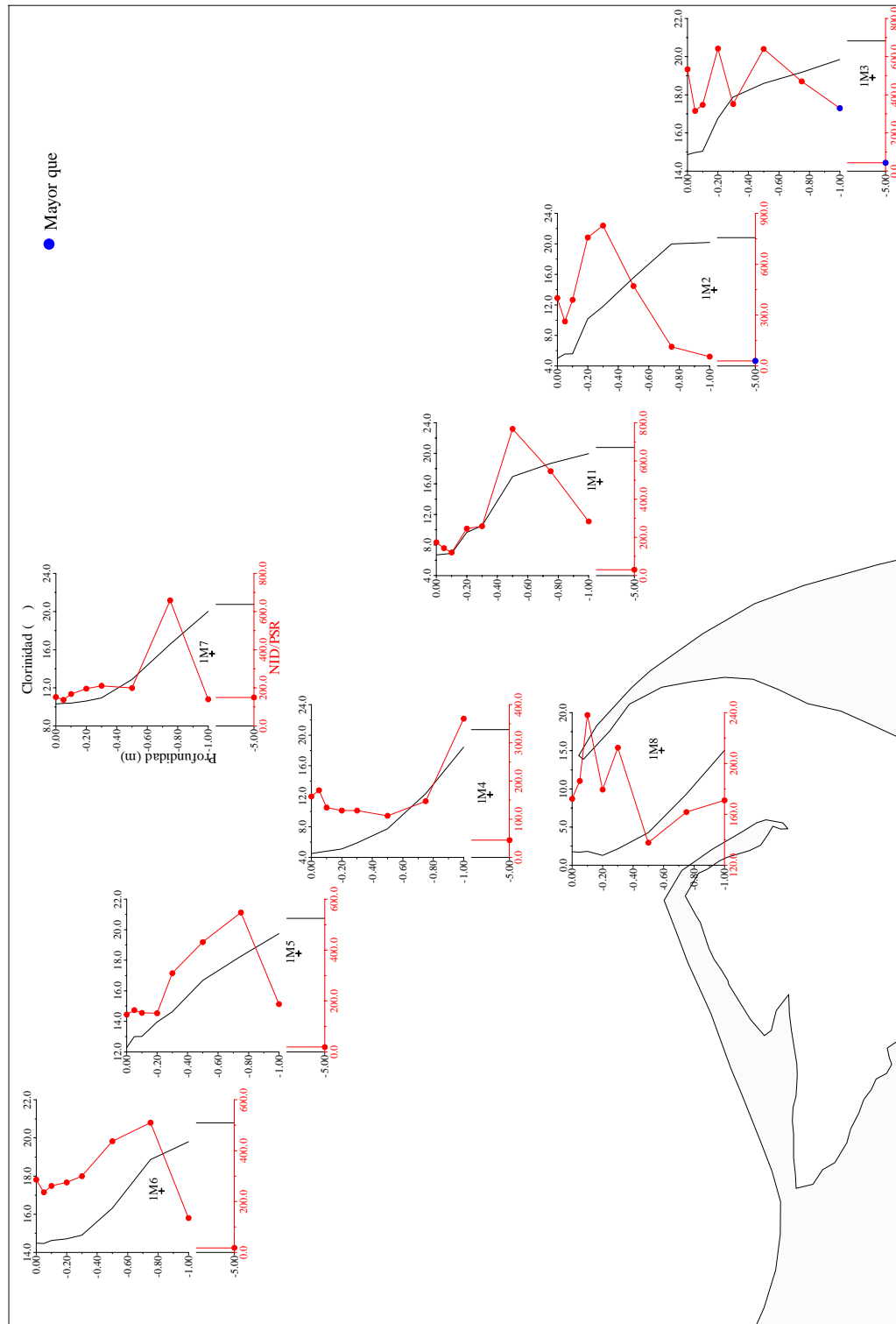


Figura 4.1.62. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 1.

Ninguno de estos perfiles podemos decir que disminuyan con la profundidad aunque sí lo hagan los nutrientes por separado. En todas las estaciones nos encontramos unos picos máximos a las profundidades intermedias, profundidades donde el NID tiene un valor elevado pero el PSR es de pequeña magnitud. En cambio, a gran profundidad (excepto en 1M8 y 1M7) suelen localizarse los mínimos, debido a que es en esta zona de la columna de agua donde el NID posee las menores concentraciones, no influyendo tanto las concentraciones de PSR.

Como puede apreciarse en las figuras que nos describen el comportamiento del NID y PSR con respecto a la clorinidad (figuras 4.1.31 y 4.1.37), mientras que el primero, en esa zona intermedia en la que se dan estos máximos, o no tiene desviaciones cuantitativamente significativas o incluso presenta ganancias, las pérdidas en el caso del fósforo son evidentes. Por tanto estos máximos encontrados en la relación NID/PSR no son sino el reflejo de ambos procesos, que muestran que hay una afección proporcionalmente mucho mayor para el fósforo que para el nitrógeno. Debido indudablemente a que las proporciones de partida están claramente desequilibradas y a que los organismos absorben en una relación 16/1, este reflejo final de la absorción es un aumento de la proporción N/P.

En la figura 4.1.63 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad, donde observamos que estos valores de NID/PSR van aumentando con la clorinidad hasta llegar a un máximo a clorinidades intermedias (en general a 16-18‰) donde se encuentran los mayores valores de NID y menores de PSR, para posteriormente ir disminuyendo hasta alcanzar los valores mínimos a mayor clorinidad (menores concentraciones de NID).

En general, en todas las estaciones encontramos que el NID/PSR es mayor de 20, exceptuando un par de valores en las estaciones 1M5 y 1M6 a mayor clorinidad (18.6 y 18.0, respectivamente). Estos altos valores encontrados son debidos a las bajas concentraciones de PSR existentes. Como se apunta en Sierra et al. (2002) el uso de fertilizantes nitrogenados en esta zona del delta del Ebro, de intensiva explotación agrícola, explica las altas relaciones N/P encontradas. Por ello podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el

crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante.

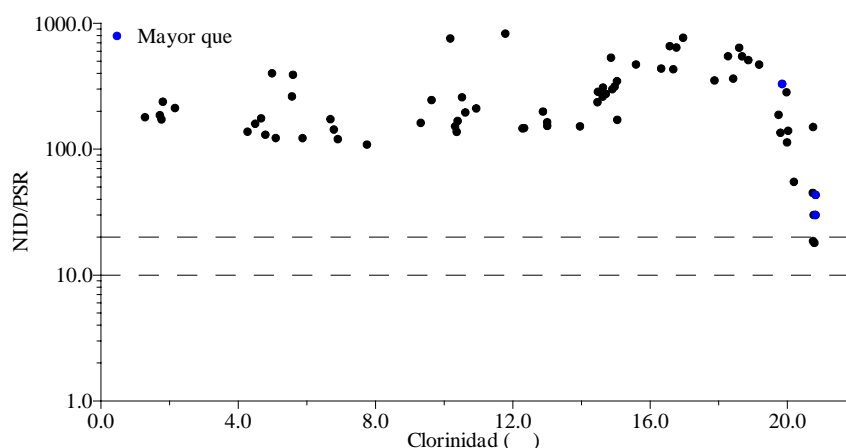


Figura 4.1.63. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 1.

b) NID/Ácido ortosilícico

La relación NID/ácido ortosilícico posee un rango de variación desde un máximo superior a 219.0 localizado en la estación 1M5 a 0.75 m de profundidad, hasta un valor mínimo de 3.5 encontrado en 1M8 a 0.05 m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.1.13.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
1M8	7.8	-0.75	3.5	-0.05
1M4	>218.0	-1.00	4.9	-0.50
1M2	>68.0	-0.75	5.3	-0.05
1M1	>164.0	-0.75	5.1	-0.10, -0.20
1M7	>56.0	-1.00	4.8	-0.05
1M5	>219.0	-0.75	5.0	0.00
1M6	>153.0	-0.75	6.9	0.00
1M3	>188.0	-0.75	6.6	-0.05

Tabla 4.1.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 1.

Los valores máximos se suelen localizar a las profundidades de 0.75-1.00 m. Por el contrario, los menores valores de esta relación se encuentran a niveles superficiales.

En la figura 4.1.64 se ha representado la variación de esta relación con la profundidad.

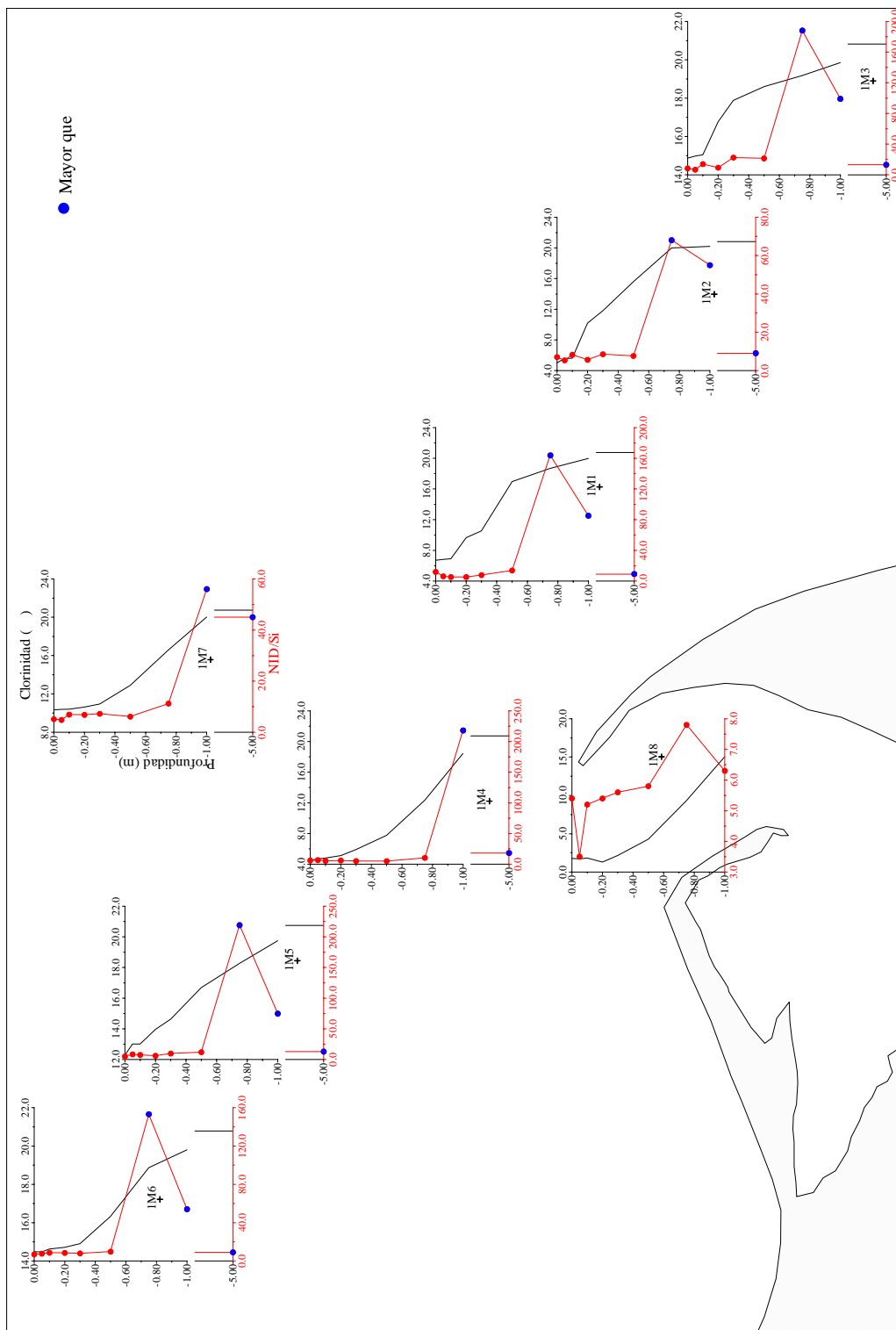


Figura 4.1.64. Perfiles verticales de NID/ cido ortosil cico. Muestreo 1.

Podemos observar que esta relación aumenta con la profundidad hasta llegar a un máximo localizado a 0.75-1.00 m en todas las estaciones, disminuyendo posteriormente a mayores profundidades. La gran proliferación de diatomeas,

junto con el bajo aporte de ácido ortosilícico que se produce a estas profundidades, provoca que el ácido ortosilícico llegue a límites cercanos al agotamiento y que se produzcan unos picos espectaculares a las profundidades de 0.75-1.00 m. Por el contrario, los menores valores de esta relación a niveles superficiales se deben sobre todo a las mayores concentraciones de ácido ortosilícico en esta capa.

En la figura 4.1.65 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad, aumentando al hacerlo la clorinidad hasta un valor máximo localizado a 18-20‰, zona donde son mayores las concentraciones de NID y el ácido ortosilícico ya está cercano al agotamiento, disminuyendo posteriormente a mayor clorinidad (menores valores de NID) en todo el rango de clorinidad. Los valores de esta relación son todos mayores de 1, lo que nos lleva a pensar que es el ácido ortosilícico más que el nitrógeno el que podría llegar a ser el nutriente limitante para las diatomeas.

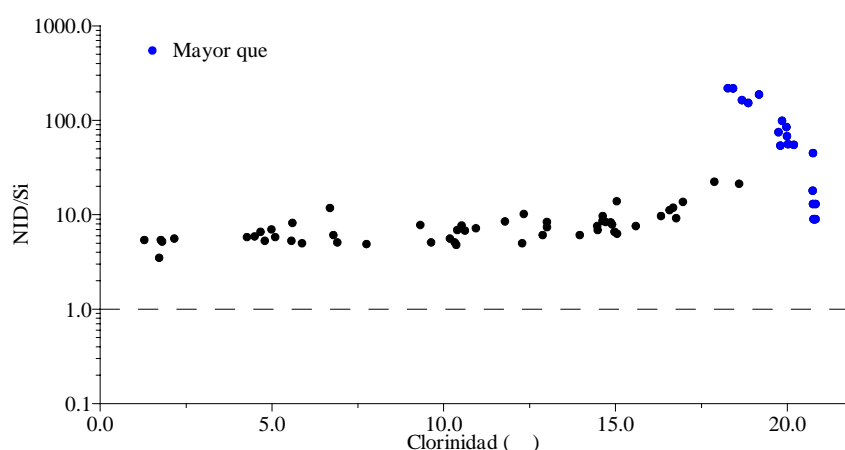


Figura 4.1.65. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 1.

4.1.13.- Tratamiento estadístico

Se ha realizado el análisis factorial con las 9 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*, y aunque la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) nos da un valor de 0.933, la matriz de correlación anti-imagen nos indica que debe eliminarse el amonio, al tener una medida de adecuación muestral pequeña. Como ya se ha explicado en la discusión correspondiente (apartado 4.1.3) el amonio no sigue una pauta clara con respecto a la clorinidad en este muestreo, es una variable bastante independiente, lo que queda también plasmado en este tratamiento estadístico. Por ello se realiza

otro análisis factorial sobre las 8 variables restantes, clorinidad, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*, pues la observación de la matriz de correlación anti-imagen de este segundo análisis (tabla 4.1.14) nos indica que todos los parámetros deben mantenerse y no debe eliminarse ninguno del tratamiento estadístico.

		Clorinidad	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	9.755E-03	7.881E-03	7.904E-03	-3.749E-03	1.202E-02	1.624E-03	9.545E-05	4.179E-03
	Nitrito	7.881E-03	1.091E-02	-7.379E-05	9.561E-05	8.156E-03	-7.357E-03	-6.820E-03	-3.814E-03
	Nitrato	7.904E-03	-7.379E-05	4.878E-02	-2.462E-02	1.121E-02	-3.710E-03	-2.531E-03	8.804E-04
	PSR	-3.749E-03	9.561E-05	-2.462E-02	0.139	-6.925E-02	8.967E-03	-2.365E-02	3.968E-03
	PDT	1.202E-02	8.156E-03	1.121E-02	-6.925E-02	0.134	-5.704E-03	-8.967E-03	3.310E-03
	PT	1.624E-03	-7.357E-03	-3.710E-03	8.967E-03	-5.704E-03	9.390E-02	8.145E-04	-7.264E-03
	Ác. ortosil	9.545E-05	-6.820E-03	-2.531E-03	-2.365E-02	-8.967E-03	8.145E-04	5.178E-02	-8.726E-03
	Clorofila	4.179E-03	-3.814E-03	8.804E-04	3.968E-03	3.310E-03	-7.264E-03	-8.726E-03	9.701E-02
Correlación anti-imagen	Clorinidad	0.879	0.764	0.362	-0.102	0.332	5.367E-02	4.247E-03	0.136
	Nitrito	0.764	0.888	-3.198E-03	2.451E-03	0.213	-0.230	-0.287	-0.117
	Nitrato	0.362	-3.198E-03	0.961	-0.299	0.139	-5.482E-02	-5.036E-02	1.280E-02
	PSR	-0.102	2.451E-03	-0.299	0.922	-0.506	7.838E-02	-0.278	3.412E-02
	PDT	0.332	0.213	0.139	-0.506	0.923	-5.083E-02	-0.108	2.901E-02
	PT	5.367E-02	-0.230	-5.482E-02	7.838E-02	-5.083E-02	0.987	1.168E-02	-7.611E-02
	Ác. ortosil	4.247E-03	-0.287	-5.036E-02	-0.278	-0.108	1.168E-02	0.970	-0.123
	Clorofila	0.136	-0.117	1.280E-02	3.412E-02	2.901E-02	-7.611E-02	-0.123	0.990

Tabla 4.1.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 1.

Este tratamiento estadístico nos da una medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) de 0.938, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Maravilloso”. El análisis factorial nos reduce estas 8 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 92.054% de la varianza total, como se muestra en la tabla 4.1.15. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.364	92.054	92.054
2	0.286	3.575	95.628
3	0.109	1.357	96.986
4	9.029E-02	1.129	98.114
5	6.802E-02	0.850	98.964
6	5.050E-02	0.631	99.596
7	2.658E-02	0.332	99.928
9	5.763E-03	7.204E-02	100.000

Tabla 4.1.15. Varianza total explicada.

En la tabla 4.1.16 se muestra la matriz de componentes para este análisis factorial. Los aportes continentales juegan un papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados (excepto el amonio) están íntimamente relacionados con la clorinidad. La clorinidad tiene aproximadamente

el mismo peso que el resto de variables pero de signo contrario, lo que nos indica que los nutrientes y la clorofila poseen una pauta inversa a la de la clorinidad.

	Componente 1
Clorinidad	-0.989
Nitrito	0.986
Nitrato	0.976
PSR	0.915
PDT	0.924
PT	0.952
Ácido ortosili.	0.978
Clorofila	0.953

Tabla 4.1.16. Matriz de componentes para el muestreo 1.

4.2.- Muestreo 2 (10 julio 1999)

4.2.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

En este muestreo, realizado el 10 de julio de 1999, se recogieron un total de 62 muestras repartidas entre 7 estaciones. Durante las horas de muestreo (09:15-17:10 GMT, aproximadamente) las condiciones meteorológicas se mantuvieron prácticamente constantes. Según la información meteorológica proporcionada por la Generalitat de Catalunya, la temperatura media ambiental en esta zona estuvo comprendida entre los 19-23°C de mínima y los 29-33°C de máxima. Para este muestreo poseemos datos meteorológicos de dos estaciones, L'Ampolla y Sant Carles de la Ràpita, que nos proporcionan la dirección y velocidad del viento predominante durante las horas en las que se realizó el muestreo (Figura 4.2.1).

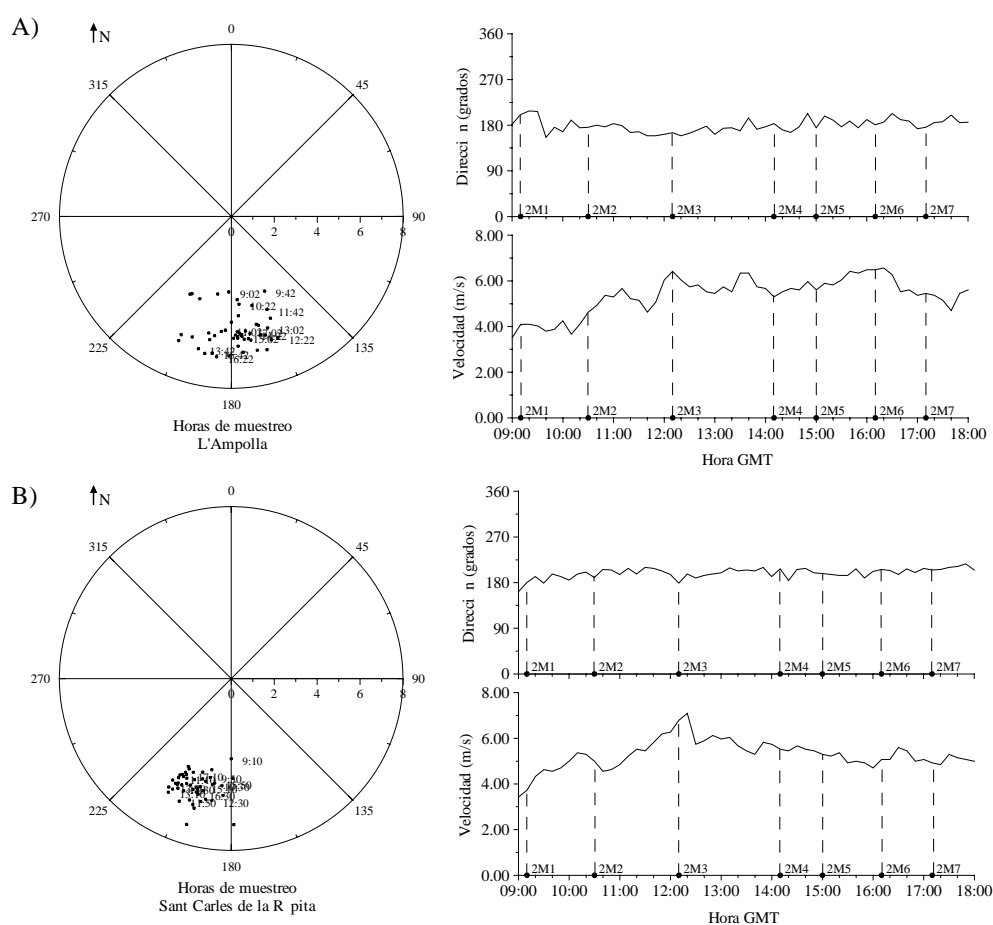


Figura 4.2.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 2.
A) L'Ampolla, B) Sant Carles de la Ràpita.

Las velocidades oscilaron entre 6.56 m/s y 3.51 m/s, con un promedio de 5.39 m/s, para la estación de L'Ampolla, y entre 7.09 m/s y 3.73 m/s, con un promedio de 5.34 m/s, para la estación de Sant Carles de la Ràpita. La dirección del viento varió entre 156.0 y 208.0 grados, con un promedio de 178.6 para la estación de L'Ampolla, y entre 179.0 y 210.0 grados, con un promedio de 198.7 para la de Sant Carles de la Ràpita. Observamos que ambas estaciones nos proporcionan datos meteorológicos similares, siendo el viento durante todo el muestreo de componente sur, entre flojo y moderado.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar, debida a las mareas astronómicas y meteorológicas y al oleaje, ha sido medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla, datos que se han representado en la figura 4.2.2. El rango de variaciones del nivel del mar es del mismo orden de magnitud que el que se encontró para el muestreo 1, con una diferencia de altura máxima del nivel del mar de 19.5 cm. Por ello, y como ya se comentó en el muestreo anterior, podemos considerar que las corrientes mareales y el oleaje no tienen gran importancia en nuestra zona de estudio, al no superarse una diferencia de altura en la columna de agua de 20 cm.

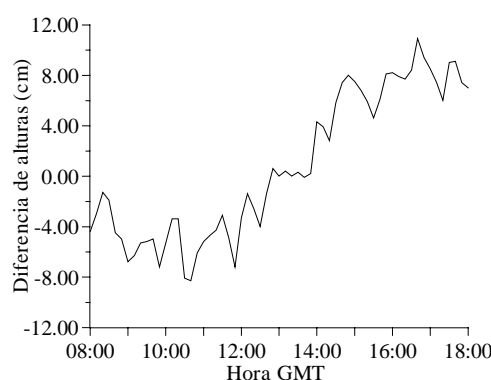


Figura 4.2.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 2.

b.2) Caudales del río Ebro

Los datos que poseemos son los que provienen de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en Tortosa. En la figura 4.2.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo.

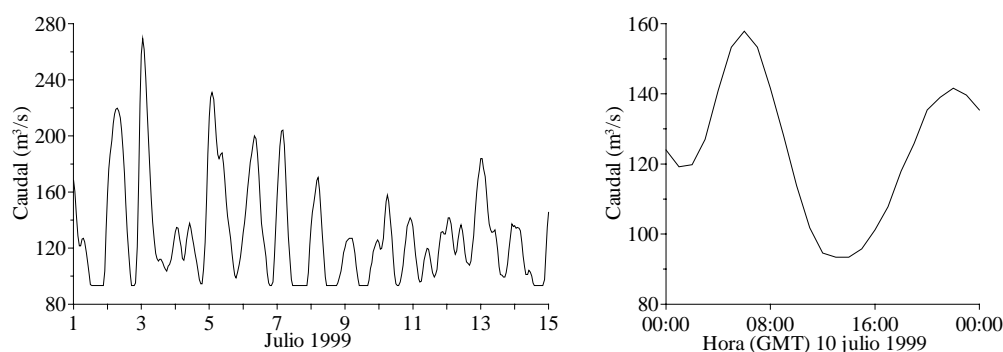


Figura 4.2.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 2.

Igual que ocurría en el muestreo 1, los caudales máximos horarios se localizan en las horas de mayor gasto hidroeléctrico, es decir, a primeras horas de la mañana y de la noche. Pero como ya comentamos anteriormente, los caudales medidos en Tortosa no son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura.

b.3) Corrientes

Se poseen los datos proporcionados por el ADP en todas las estaciones, pero como ya comentamos para el muestreo anterior, nos centraremos solamente en la estación más cercana a la boca del río. En la figura 4.2.4 se ha representado los datos proporcionados por el correntímetro ADP para la estación 2M1.

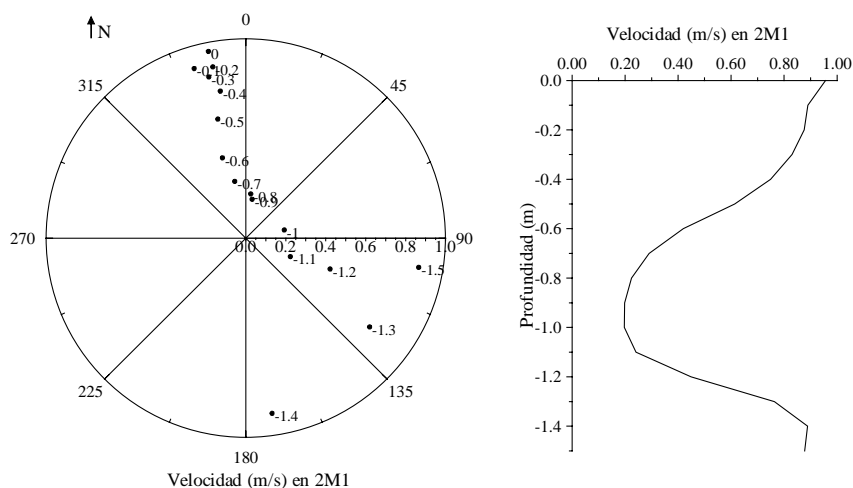


Figura 4.2.4. Dirección (grados) y velocidad (m/s) de la corriente proporcionado por el ADP, en la estación 2M1.

Podemos observar que la velocidad va disminuyendo conforme aumenta la profundidad, llegando a un valor mínimo a una profundidad aproximada de 0.9-1.0 m, aumentando de nuevo posteriormente. Hasta una profundidad aproximada de 0.9 m la corriente posee una dirección norte, debida como en la estación 1M8

del muestreo 1 a la fuerza del flujo de agua proveniente del río Ebro, y a la dirección del viento dominante que proviene del sur. Pero a partir de esta profundidad se produce un cambio de dirección en la columna de agua, moviéndose hacia el este-sureste. Este cambio de dirección es debido a que, a mayores profundidades, toman más fuerza las corrientes propias del mar que la fuerza debida al caudal del río Ebro o a los vientos dominantes en la zona. Por todo ello, la interfase estaría situada, al igual que ocurría en la estación 1M8 del muestreo 1, a una profundidad aproximada de 1.0 m.

4.2.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

En esta campaña poseemos los datos de la toma de muestras superficial realizada previamente (Tabla A.3 del Anexo), a partir de los cuales se situaron las 7 estaciones muestreadas. 2M1 se situó en la boca del río, 2M2, 2M6 y 2M7 dentro de la pluma estuarina, 2M3 y 2M5 fuera de la pluma y 2M4 justo en el límite de ésta. Además se poseen los datos procedentes del CTD Seabird para todas las estaciones de muestreo (Tabla A.4 del Anexo). Este equipo proporciona datos de conductividad (S/m), temperatura (°C) y presión (decibares), pero por diversos problemas de funcionamiento los datos de conductividad parecen ser erróneos por lo que no se van a estudiar. Los datos de temperatura se representan en la figura 4.2.5, junto con los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 7 estaciones mediante el SWAS.

a) Temperatura

En algunas estaciones no poseemos datos de los primeros centímetros de la columna de agua (por ejemplo en 2M2), lo que nos complica la comparación entre las diferentes estaciones. La temperatura superficial oscila entre 24-25°C en todas las estaciones y a 5 m entre 21-22°C, excepto la 2M3 cuyas temperaturas superficial y profunda son las mayores (25.1°C y 24.3°C respectivamente) pues hemos de recordar que esta estación se muestreó a las 12:15 h, hora de mayor insolación. En todas las estaciones la temperatura disminuye al aumentar la profundidad, debido tanto a la insolación como a la diferencia entre el agua dulce/salobre superficial y la marina profunda. Los gradientes de temperatura encontrados difieren de unas estaciones a otras, como se observa en la figura

4.2.5. En 2M2, 2M5, 2M6 y 2M7 la temperatura disminuye gradualmente al aumentar la profundidad en los dos primeros metros de la columna de agua aproximadamente. Posteriormente disminuye más bruscamente en un rango de aproximadamente 1 metro, manteniéndose luego constante hasta 5 m. En cambio, en 2M1, 2M3 y 2M4 la temperatura disminuye gradualmente a lo largo de todo el espesor de la capa de agua.

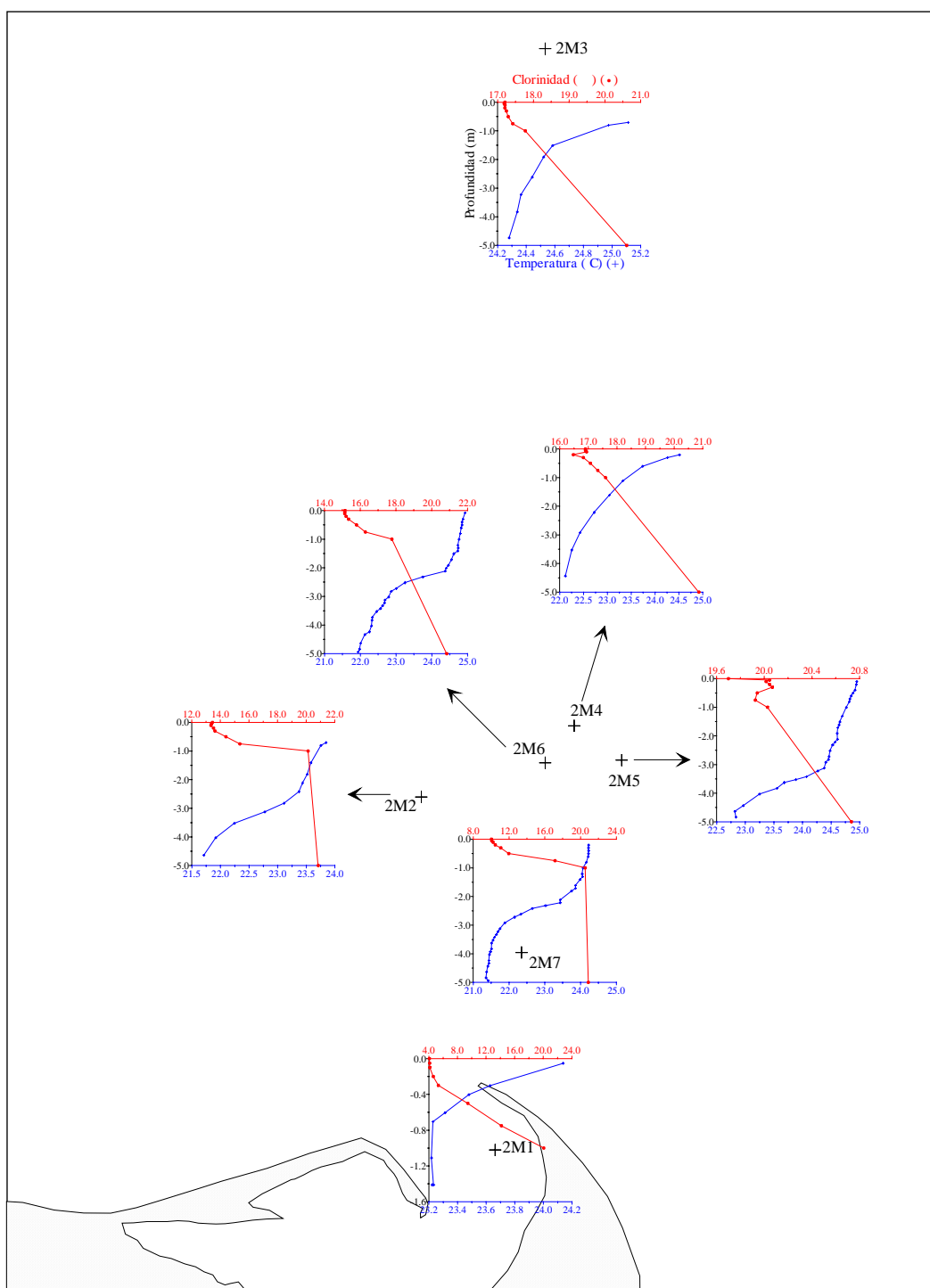


Figura 4.2.5. Perfiles de temperatura (°C) (+) del CTD Seabird y clorinidad (‰) (••) de las muestras de agua para el muestreo 2.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

En la figura 4.2.6 se ha representado los datos de conductividad que se obtuvieron en el muestreo previo.

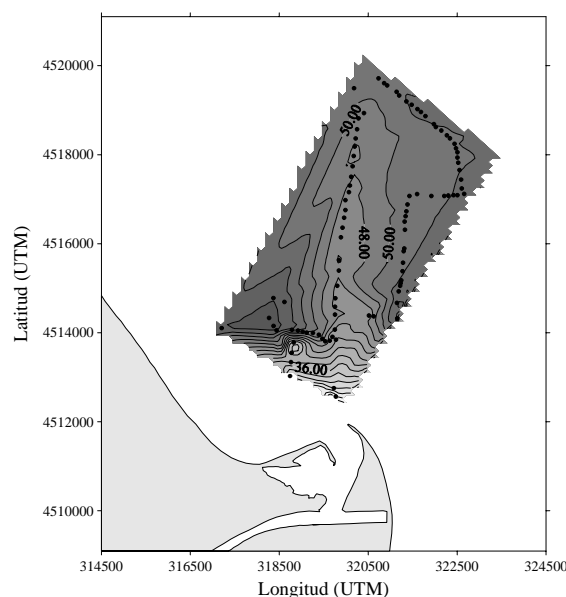


Figura 4.2.6. Distribución superficial de conductividad (mS/cm) en la toma previa de muestras. Muestreo 2.

Podemos comprobar que la pluma de agua dulce/salobre parece trasladarse hacia el norte, debido al efecto del viento dominante que provenía del sur, como anteriormente comentamos.

En la figura 4.2.5, donde se representa los perfiles de clorinidad obtenidos mediante la toma de muestras utilizando el SWAS, observamos que, igual que en el muestreo anterior, los datos obtenidos nos aportan una gran precisión en la capa más superficial (Tabla A.5 del Anexo).

En la tabla 4.2.1 se han especificado los valores máximos y mínimos de clorinidad (‰) en cada estación de las muestras de agua recogidas a distintas profundidades. Como era de esperar por la diferencia de clorinidad y densidad entre el agua dulce/salobre y la marina, los valores máximos de clorinidad se encuentran a mayor profundidad en todas las estaciones. Los mínimos se localizan generalmente en la capa más superficial, pero no siempre a 0.00 m de profundidad, pues por ejemplo en 2M4 el mínimo se encuentra a 20 cm. Los valores de clorinidad van aumentando al alejarnos de la desembocadura, siendo 2M1 la estación de mayor influencia fluvial y 2M5 la de menor. Esta estación

2M5 es más salina en superficie que la 2M3 aunque está más cercana a la boca del río Ebro, ya que como ya apuntamos anteriormente la estación 2M5 se encuentra situada fuera de los límites de la pluma fluvial, por el movimiento de la pluma arrastrada en dirección norte por los vientos del sur.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
2M1	20.068	-1.00	4.075	0.00
2M7	20.863	-5.0	10.035	0.00
2M2	20.841	-5.0	13.343	-0.10
2M6	20.837	-5.0	15.129	-0.10
2M4	20.863	-5.0	16.474	-0.20
2M3	20.608	-5.0	17.183	-0.05
2M5	20.731	-5.0	19.699	0.00

Tabla 4.2.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 2.

En la figura 4.2.7 se ha representado un corte vertical del transecto formado por las estaciones 2M1, 2M7, 2M6, 2M4 y 2M3, donde se observa que la clorinidad aumenta al hacerlo la profundidad y al alejarnos de la boca del río.

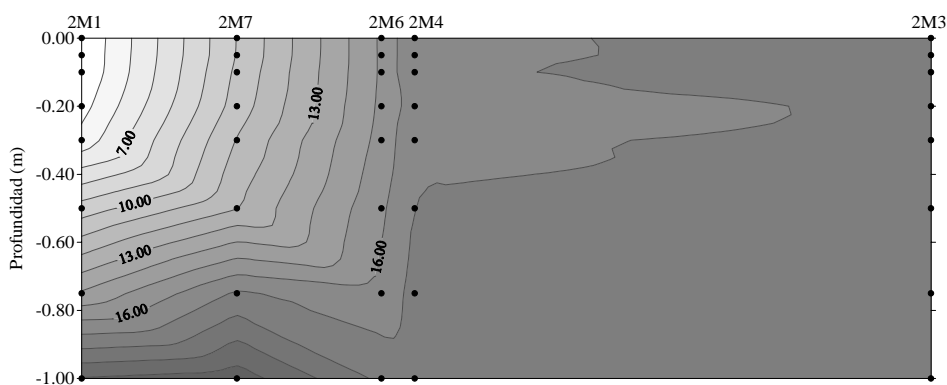


Figura 4.2.7. Perfil vertical de clorinidad (‰) del transecto 2M1-2M3 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

Dicho aumento con la profundidad también queda patente en la figura 4.2.5 en todas las estaciones. Los valores reducidos que se dan en los puntos subsuperficiales de 2M4 y 2M5 parecen deberse a un cambio de la dirección del viento con anterioridad al muestreo, el viento del sur ha introducido aguas marinas por superficie sobre una capa salobre de menor salinidad.

En la figura 4.2.8 se ha representado la distribución superficial, donde se comprueba que la clorinidad va aumentando al alejarnos de la boca del río Ebro, y que la pluma de agua dulce/salobre se traslada en dirección norte, debido al flujo natural del río Ebro y a los vientos dominantes en este muestreo, que recordemos eran de dirección sur.

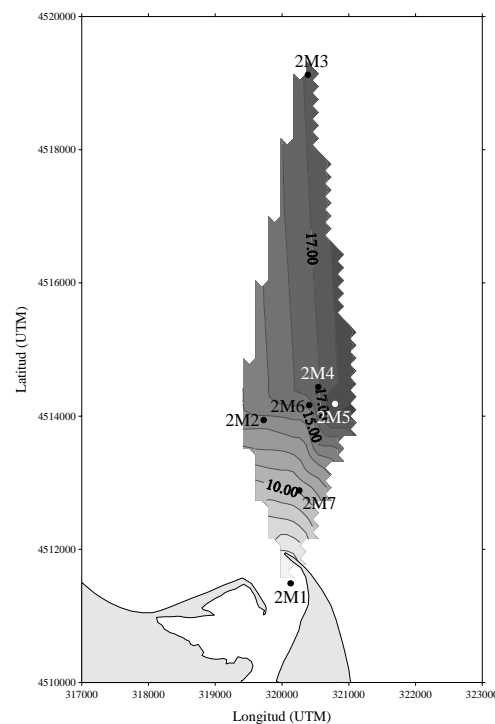


Figura 4.2.8. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a 0.00 m para las 7 estaciones del muestreo 2.

Esto mismo también se observa en la figura 4.2.9, donde se ha representado las distribuciones horizontales a todas las profundidades. En todas ellas se comprueba que la clorinidad va aumentando al alejarnos de la boca del río Ebro. Conforme aumenta la profundidad la influencia de las aguas dulces va disminuyendo, llegando a no observarse desplazamiento de la pluma hacia el norte a una profundidad de 0.75 m, ya que por la diferencia de densidad las aguas dulces se trasladan por las capas más superficiales. Es de resaltar que a 1.00 y 5.0 m la clorinidad cerca de la desembocadura es mayor que en puntos más alejados de ésta.

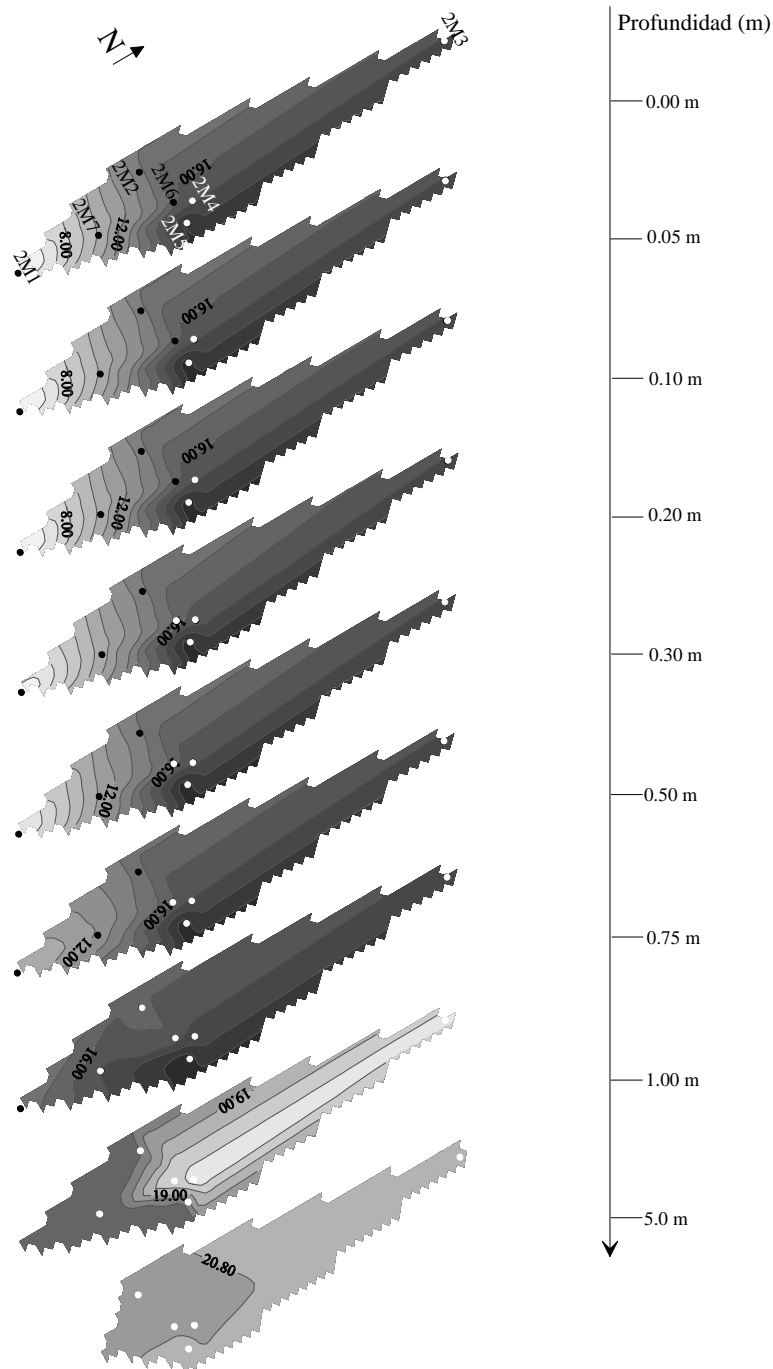


Figura 4.2.9. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 2. (Las distribuciones a las profundidades de 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes)

4.2.3.- Amonio

El máximo valor encontrado corresponde a $3.0 \mu\text{mol/L}$ en la estación 2M1 a la profundidad de 0.75 m. El menor es de $0.1 \mu\text{mol/L}$ y se localiza a 5.0 m de profundidad en la estación 2M5. En este muestreo, a diferencia de lo que ocurría en el anterior, no encontramos ningún valor por debajo del límite de detección del método analítico ($<0.1 \mu\text{mol/L}$). En la tabla 4.2.2 puede observarse los máximos y

mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes.

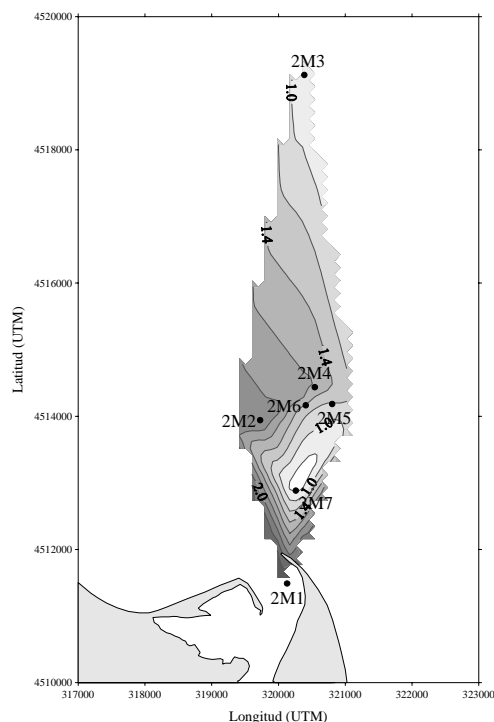
Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	3.0	-0.75	0.7	-1.00
2M7	2.0	-0.50	0.3	-0.05, -0.10
2M2	2.1	-0.05, -0.30	1.0	-1.00, -5.0
2M6	2.4	-0.20	1.2	-0.75
2M4	1.6	0.00	0.4	-5.0
2M3	1.5	-0.05	0.7	-5.0
2M5	1.1	0.00	0.1	-5.0

Tabla 4.2.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Las concentraciones de amonio de origen fluvial normalmente son mayores que las marinas, lo que da lugar a que la distribución de este nutriente en la pluma tienda a ser inversa a la de la clorinidad. Esto es la causa de que las mayores concentraciones se localicen en las estaciones de mayor influencia fluvial y a nivel más superficial, excepto en 2M1 donde el máximo se encuentra a 0.75 m de profundidad. Este pico a profundidad intermedia es achacable probablemente a la mineralización de los organismos senescentes por el shock salino y/o por la excreción de los heterótrofos que se alimentan de ellos. En cambio, los menores valores de amonio se encuentran en las estaciones más salinas y con menor influencia continental y a las mayores profundidades.

En la figura 4.2.10 se observa la distribución superficial a 0.00 m de profundidad. El menor valor superficial encontrado en 2M7 ($0.6 \mu\text{mol/L}$) respecto al resto de estaciones, que de hecho es menor incluso que los encontrados en las estaciones más salinas 2M3 ($0.8 \mu\text{mol/L}$) y 2M5 ($1.1 \mu\text{mol/L}$), da lugar a que la distribución mostrada en la figura 4.2.10 no sea la típica de un nutriente de origen fluvial cuya concentración va disminuyendo al hacerlo la influencia continental. Debemos tener en cuenta que la afección de las elevadas tasas de las entradas y salidas a esta especie de nitrógeno y las menores diferencias existentes entre las

concentraciones fluviales y marinas pueden conducir a estos niveles reducidos a pesar de haber aportes fluviales importantes.



excreción de los heterótrofos que se alimentan de ellos. Al igual que ocurría en el muestreo anterior, las numerosas entradas y salidas de este nutriente y la absorción preferencial por parte de la comunidad fitoplanctónica provocan las discontinuidades que podemos observar en la figura 4.2.11 y también en la 4.2.12, donde se representa los perfiles verticales de cada una de las estaciones.

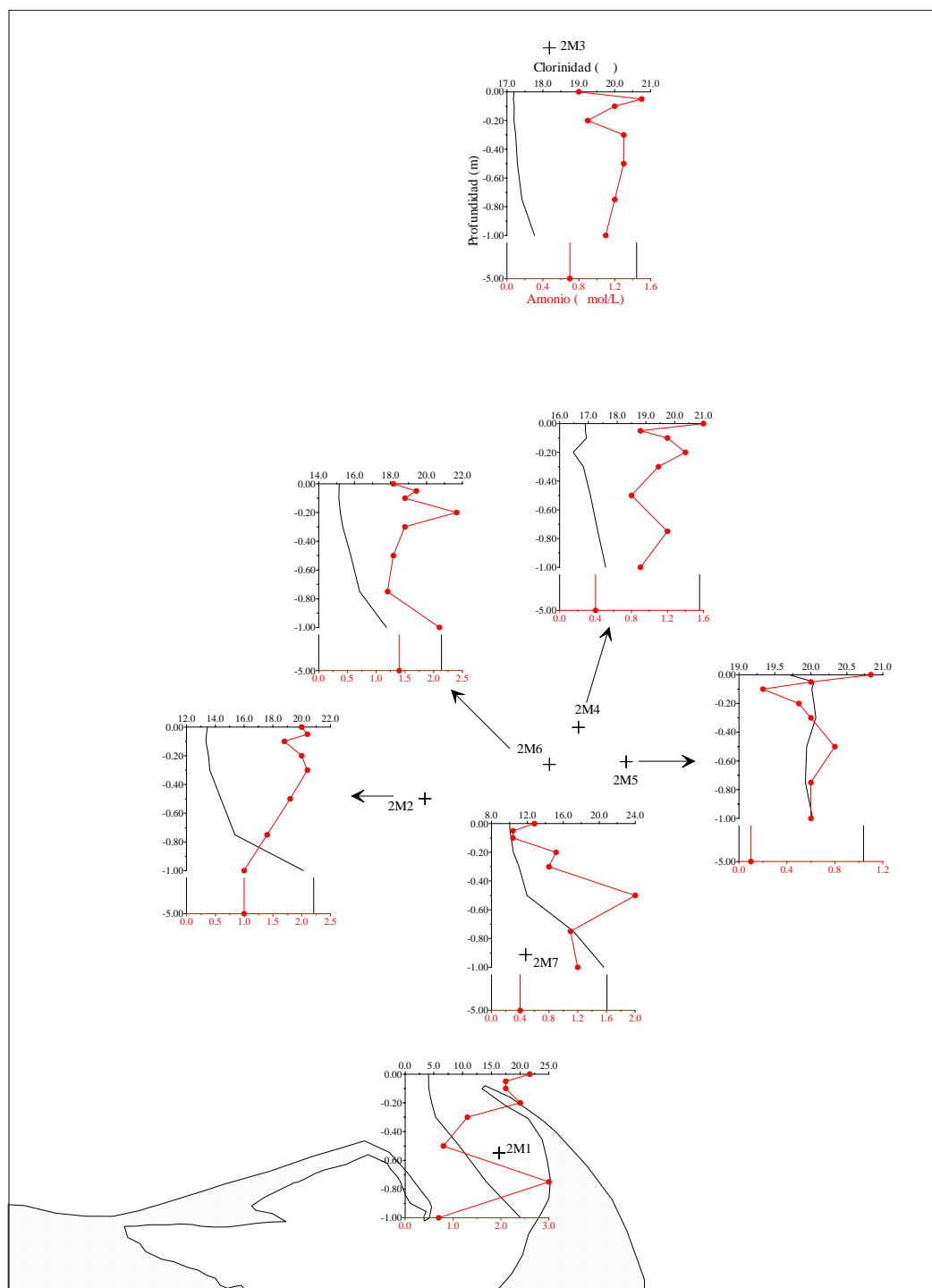


Figura 4.2.12. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 2.

Aunque en general los valores en las capas superficiales son mayores que en las más profundas, donde tanto la influencia fluvial como la actividad biológica (representada por la clorofila *a*) es más reducida, en ninguna de las estaciones podemos decir que el amonio disminuya con la profundidad de manera continua, ya que hay diversas desviaciones. Se pueden observar dos tipos diferentes de perfiles:

- En 2M2, 2M6 y 2M3 los valores a 0.00 m son menores que a 0.05 m, alcanzándose las concentraciones máximas a diferentes profundidades (0.30 m en 2M2, 0.20 m en 2M6 y 0.05 m en 2M3). Posteriormente la concentración de amonio disminuye gradualmente al aumentar la profundidad, encontrando aumentos adicionales en 2M3 (0.30 m) y 2M6 (1.00 m).

- En el resto de estaciones la concentración de amonio disminuye en los primeros centímetros de la columna de agua (hasta 0.05-0.10 cm), aumentando posteriormente hasta profundidades que oscilan entre 0.20 m (en 2M1 y 2M4) y 0.50 m (en 2M7 y 2M5). Al aumentar la profundidad estas concentraciones disminuyen progresivamente encontrando algunos otros aumentos en 2M1 y 2M4 a 0.75 m y en 2M7 a 1.00 m.

En la figura 4.2.13 se muestra el comportamiento de este nutriente en el proceso de mezcla para cada una de las estaciones. En todas ellas las concentraciones de amonio son superiores a las que corresponderían si la mezcla entre el agua dulce/salobre y la marina fuera ideal, al quedar por encima de la línea de mezcla de origen fluvial. Tal parece que las entradas derivadas de las exudaciones fitoplanctónicas, la amonificación y las excreciones de los heterótrofos superen ampliamente las salidas por absorción y nitrificación. Solamente en las estaciones con mayor influencia continental (2M1 y 2M7) se encuentran algunas muestras con una concentración menor a la correspondiente a la mezcla ideal debido a una mayor absorción, como se comprobará posteriormente por sus altos valores de clorofila *a*. Todas las variaciones encontradas cabe achacarlas a las numerosas entradas y salidas de esta especie de nitrógeno (amonificación, excreción heterótrofa, exudación autótrofa, absorción fitoplanctónica y bacteriana y nitrificación) y a las bajas concentraciones encontradas, que provocan que cualquier mínimo cambio en sus concentraciones tenga importantes repercusiones. A todo ello hay que añadir el que en este

muestreo se ha alcanzado una elevada biomasa cuyo crecimiento ha afectado, como veremos posteriormente, no solo al PSR sino también al nitrato que muestra pérdidas claras en el proceso de mezcla. Ya que el amonio es absorbido preferencialmente con respecto a esta forma de nitrógeno, no es de extrañar que el crecimiento de la comunidad planctónica haya afectado en gran medida a las pautas de distribución del amonio.

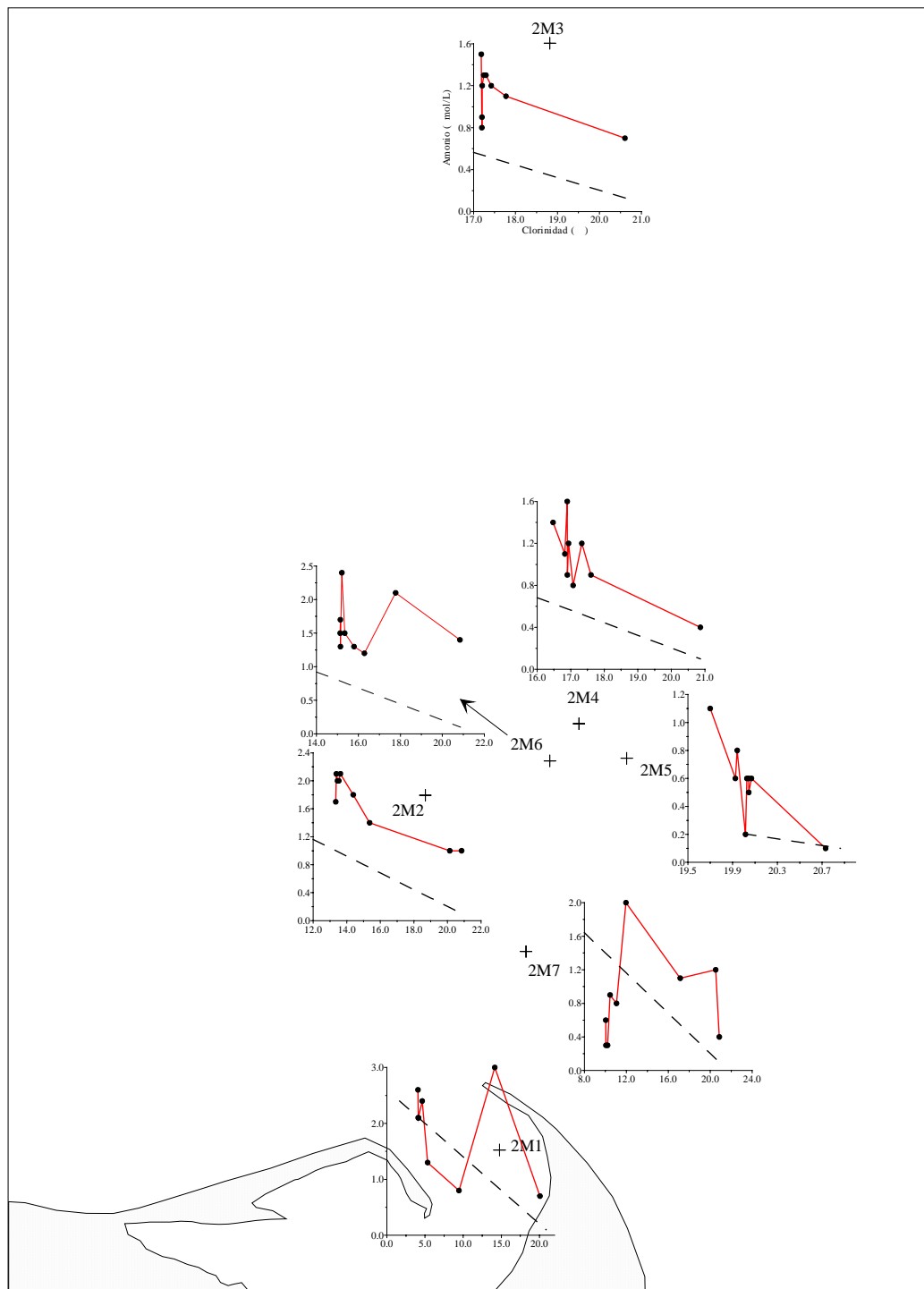


Figura 4.2.13. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

En la figura 4.2.14 se observa el comportamiento global de este nutriente. La mayoría de las muestras quedan situadas por encima de la línea de mezcla ideal de origen fluvial, lo que nos indica, como ya hemos dicho, que en este muestreo la alta absorción por parte de las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas queda ampliamente compensada por procesos como la amonificación, excreción heterótrofa y/o exudación autótrofa. Solamente en el rango de clorinidad 5.0-12.0‰ se producen pérdidas debido a una mayor absorción, como así lo indican los valores de clorofila *a* que posteriormente veremos.

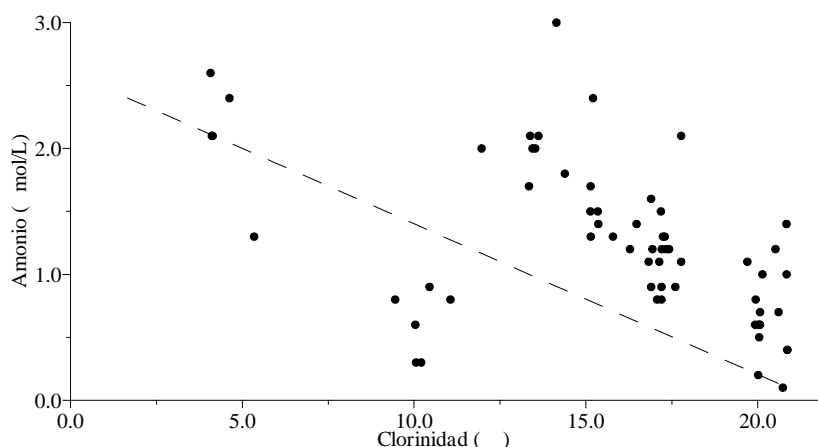


Figura 4.2.14. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.4.- Nitrato

El valor máximo corresponde a 130.3 $\mu\text{mol/L}$ a 0.00 m en la estación 2M1 y el mínimo a un valor inferior a 0.1 $\mu\text{mol/L}$ en 2M2 a 5.0 m. En la tabla 4.2.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	130.3	0.00	3.0	-1.00
2M7	74.2	0.00, -0.10	0.4	-5.0
2M2	51.8	0.00	<0.1	-5.0
2M6	37.6	0.00	0.2	-5.0
2M4	23.9	-0.05	0.3	-5.0
2M3	25.4	0.00	0.3	-5.0
2M5	4.0	0.00	0.6	-5.0

Tabla 4.2.3. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrato en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Como era de esperar, debido a la influencia fluvial, los mayores valores se encuentran en la estación de menor clorinidad (2M1) y los menores en la más salina (2M5). Las concentraciones van disminuyendo al aumentar la profundidad, encontrando los máximos en las capas más superficiales y los mínimos en las más profundas.

En la figura 4.2.15 se muestra la distribución horizontal a 0.00 m, donde se comprueba claramente que las concentraciones van disminuyendo al hacerlo la influencia continental, al movernos hacia los extremos de la pluma (2M3 y 2M5). Aquí se observa nuevamente que no siempre las estaciones más cercanas a la boca del río tienen mayor influencia continental que otras más alejadas, pues de hecho 2M3 tiene mayores concentraciones que la estación 2M5 que se encuentra más cercana a la desembocadura. Esto se debe, como ya se ha dicho en el apartado dedicado a la clorinidad, a que la influencia fluvial es mayor en 2M3 que en 2M5.

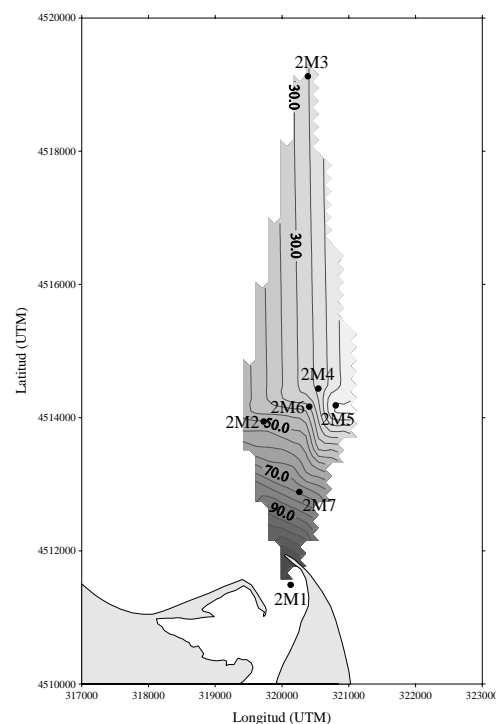


Figura 4.2.15. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 2.

Esta disminución de la concentración al hacerlo la influencia fluvial también queda patente en la figura 4.2.16, donde se muestra la distribución vertical de nitrato en el transecto formado por las estaciones 2M1, 2M7, 2M6, 2M4 y 2M3.

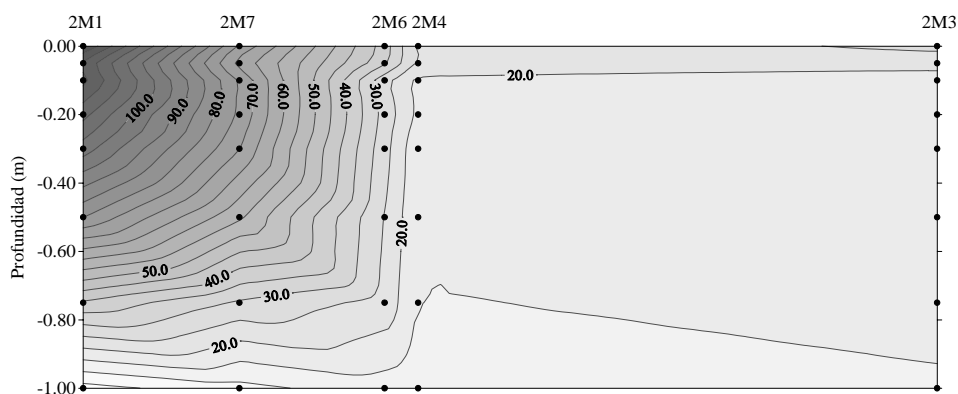


Figura 4.2.16. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 2M1-2M3.

Se observa que la concentración de este nutriente disminuye progresivamente al aumentar la profundidad, la distancia a la boca y por lo tanto la clorinidad. Esta pauta de disminución es resultado de la mezcla física pura de las aguas dulces con una concentración de nitrato más elevada y las más salinas de una concentración inferior. No obstante, como veremos más adelante, el comportamiento no es totalmente conservativo.

En la figura 4.2.17 se ha representado los perfiles verticales en cada una de las estaciones, donde se aprecia que, a pesar de que la pauta general es de disminuir la concentración al aumentar la profundidad, se producen algunas desviaciones de pequeña magnitud. Éstas se producen en dos zonas diferentes de la columna de agua, en las capas más superficiales y en las más profundas.

- En todas las estaciones se produce unas ciertas discontinuidades de pequeña magnitud en los primeros centímetros de la capa de agua, probablemente debidas a la actividad fitoplanctónica. En las de mayor influencia continental (2M1 y 2M7) éstas se producen hasta una profundidad de 10 cm, y en las demás hasta 20 cm.

- En el resto de la columna de agua la concentración disminuye gradualmente al aumentar la profundidad, excepto en las estaciones más salinas, donde se localiza un ligero aumento en 2M3 a 0.50 m y en 2M5 a 0.50 y 1.00 m. Sin embargo, la gran mayoría de estos picos son de pequeña magnitud, excepto el encontrado en la estación 2M5 a 1.00 m de profundidad, cuya concentración de amonio también es algo mayor de lo esperado y que podría ser debido a algún tipo de aporte foráneo.

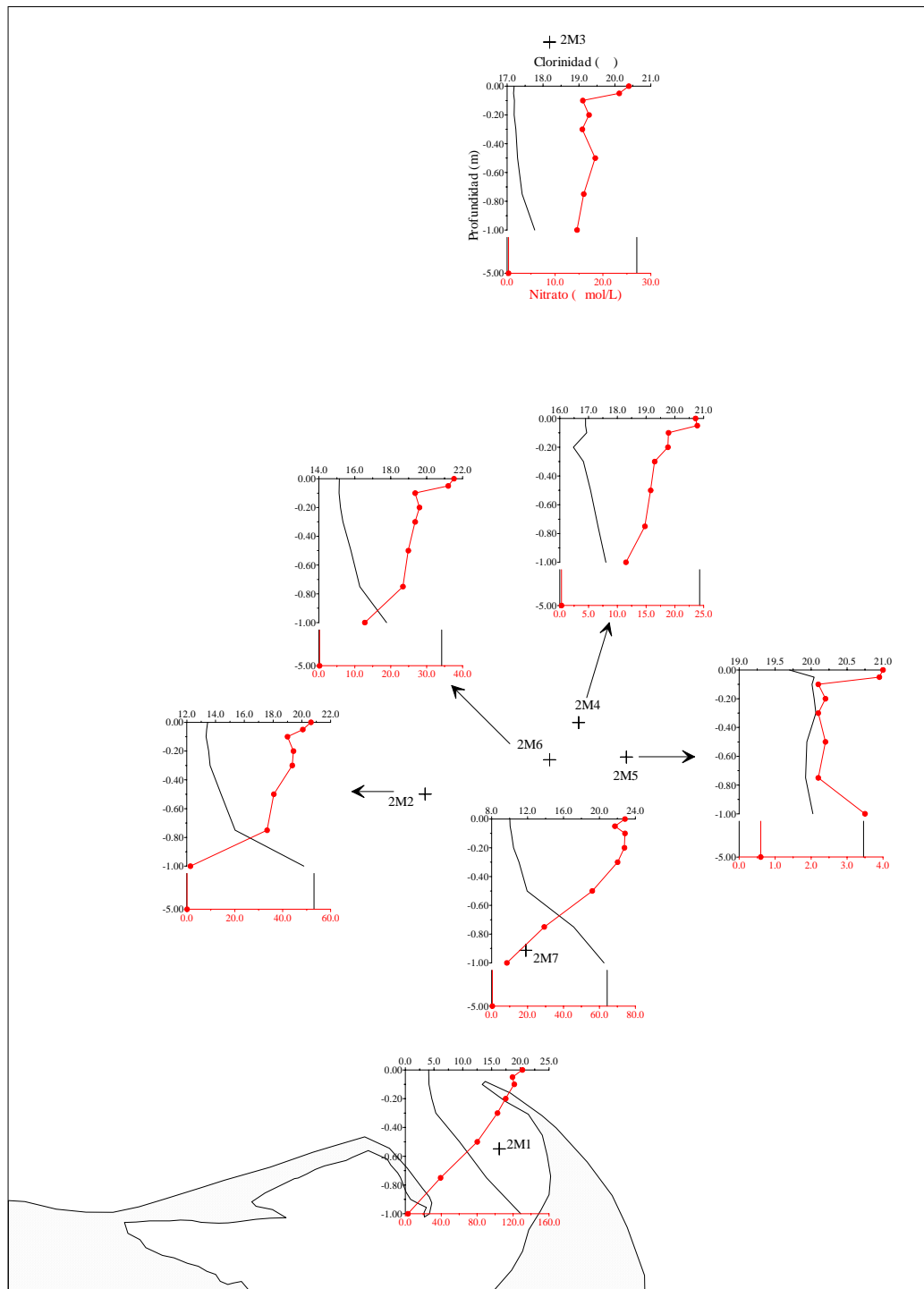


Figura 4.2.17. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 2.

El comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones se ha representado en la figura 4.2.18, donde se observa que en todas ellas las concentraciones de nitrato disminuyen gradualmente al aumentar la clorinidad, encontrando sin embargo dos tipos diferentes de comportamiento:

- Respecto a la línea de mezcla ideal de origen fluvial, en las dos estaciones de mayor influencia continental (2M1 y 2M7) el comportamiento del nitrato

puede considerarse aproximadamente conservativo aunque con muy ligeras pérdidas.

- Sin embargo en el resto de estaciones, que poseen menor influencia continental, el nitrato presenta claras pérdidas en el proceso de mezcla.

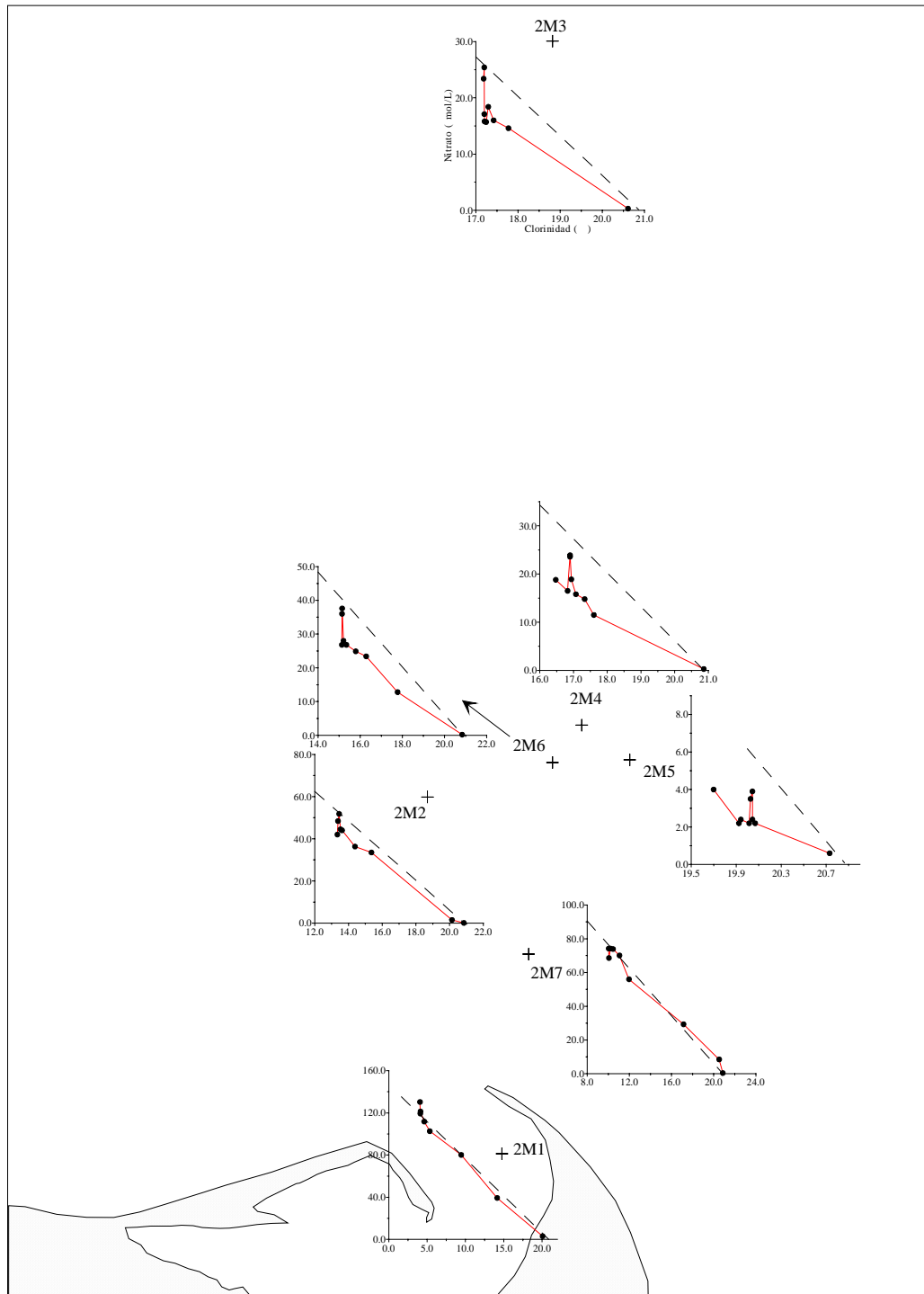


Figura 4.2.18. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

Las disminuciones y pérdidas de la concentración de esta especie de nitrógeno encontradas en este muestreo cabe achacarlas a la predominancia de la

absorción fitoplanctónica sobre otro tipo de procesos que podrían aumentar su concentración.

El comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina se muestra en la figura 4.2.19, donde se observa que a menor clorinidad el nitrato se comporta de manera conservativa, encontrando ligeras pérdidas en la masa de agua de mayor clorinidad. Estas pérdidas son debidas, como ya comentamos anteriormente, a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre los restantes procesos.

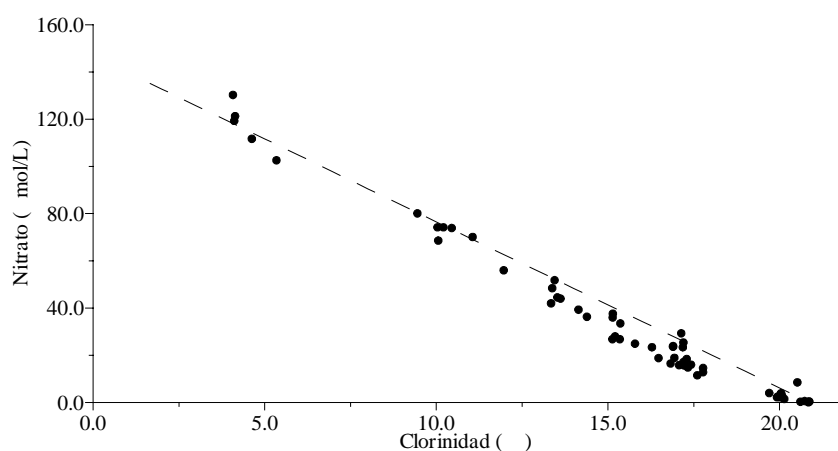


Figura 4.2.19. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.5.- Nitrito

El valor máximo de este nutriente se encuentra en la estación 2M1 a 0.05 m de profundidad y corresponde a $0.65 \mu\text{mol/L}$, mientras que el mínimo es inferior al límite de detección del método analítico ($0.01 \mu\text{mol/L}$) y se localiza en todas las estaciones a las mayores profundidades. En la tabla 4.2.4 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Como era de esperar, y debido a que la concentración fluvial de esta especie de nitrógeno es claramente mayor que la marina, los valores más elevados se localizan en las estaciones de mayor influencia continental, disminuyendo conforme las aguas se vuelven más salinas, llegando a valores menores de $0.01 \mu\text{mol/L}$ en las zonas más estrictamente marinas.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	0.65	-0.05	<0.01	-1.00
2M7	0.35	-0.10	<0.01	-0.75, -1.00, -5.0
2M2	0.20	0.00	<0.01	-1.00, -5.0
2M6	0.08	0.00, -0.05, -0.10, -0.20	<0.01	-1.00, -5.0
2M4	0.03	-0.20, -0.30	<0.01	-1.00, -5.0
2M3	0.16	-0.05	<0.01	-0.75, -1.00, -5.0
2M5	<0.01 a todas las profundidades			

Tabla 4.2.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Esto mismo se aprecia en la figura 4.2.20, donde se muestra su distribución superficial. Las concentraciones de nitrito van disminuyendo al movernos hacia los extremos de la pluma estuarina (hacia 2M3 y 2M5), llegando incluso a niveles cercanos al agotamiento en la estación 2M5.

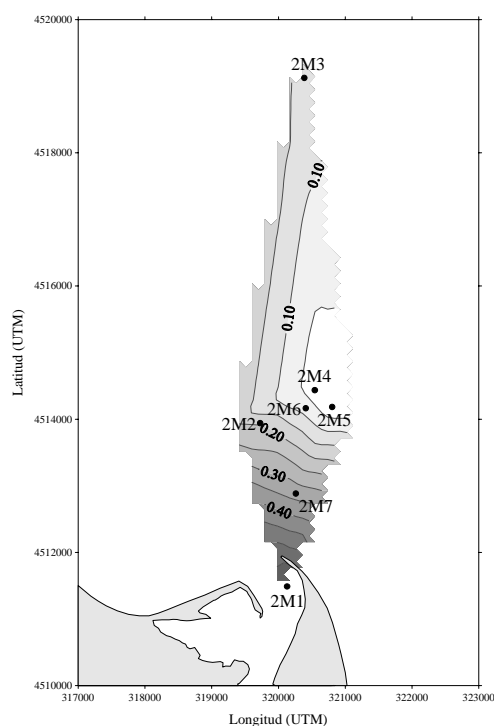


Figura 4.2.20. Distribución superficial de nitrito ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 2.

En la figura 4.2.21 se muestra la distribución vertical en el transecto 2M1-2M3, donde se aprecia que al igual que ocurre con otros nutrientes, el nitrito disminuye al aumentar la profundidad, y por consiguiente la clorinidad, y al

alejarnos de la desembocadura, con la salvedad de la estación 2M4 por las razones que posteriormente detallaremos.

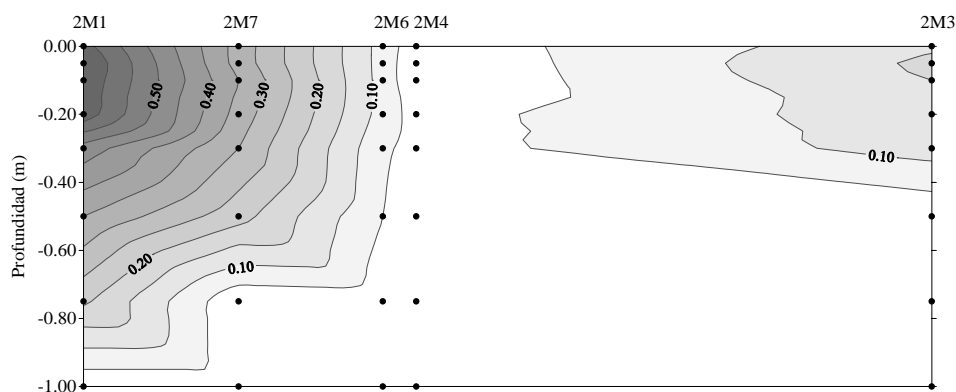


Figura 4.2.21. Distribución vertical de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 2M1-2M3.

La esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad queda también patente en la figura 4.2.22, donde se muestra los perfiles encontrados en cada una de las estaciones. Aunque como ya hemos comentado la pauta general es de disminuir la concentración al aumentar la profundidad, se observan, como también ocurre con otros nutrientes, algunas desviaciones de ésta:

- Ante todo se ha de destacar los valores indetectables encontrados en la estación 2M5, donde el nitrito está agotado en toda la columna de agua. Valores muy similares se encuentran en la estación 2M4, con gran influencia marina, donde aunque se observan diversos picos en su perfil, estos no son de gran importancia dado el rango de variación que se da en esta estación.

- En el resto de estaciones se observa una clara disminución con la profundidad. Sólo en las capas más superficiales encontramos pequeños picos que suelen darse entre las profundidades de 0.00 y 0.20 m. Estas disminuciones encontradas en la capa más superficial pueden deberse a una alta absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación, como veremos a continuación.

En esta figura 4.2.22 observamos, como ya se vio en la figura 4.2.21, los menores valores de nitrito encontrados en 2M4 que en 2M3. Esta discontinuidad cabe achacarla a que la estación 2M4 estaba situada en el límite de la pluma estuarina, y por consiguiente con una influencia continental menor que la de 2M3 a pesar de estar más cerca de la boca del río. No es por tanto extraño que la distribución vertical de 2M3 sea más similar a la de 2M6 que a la de 2M4.

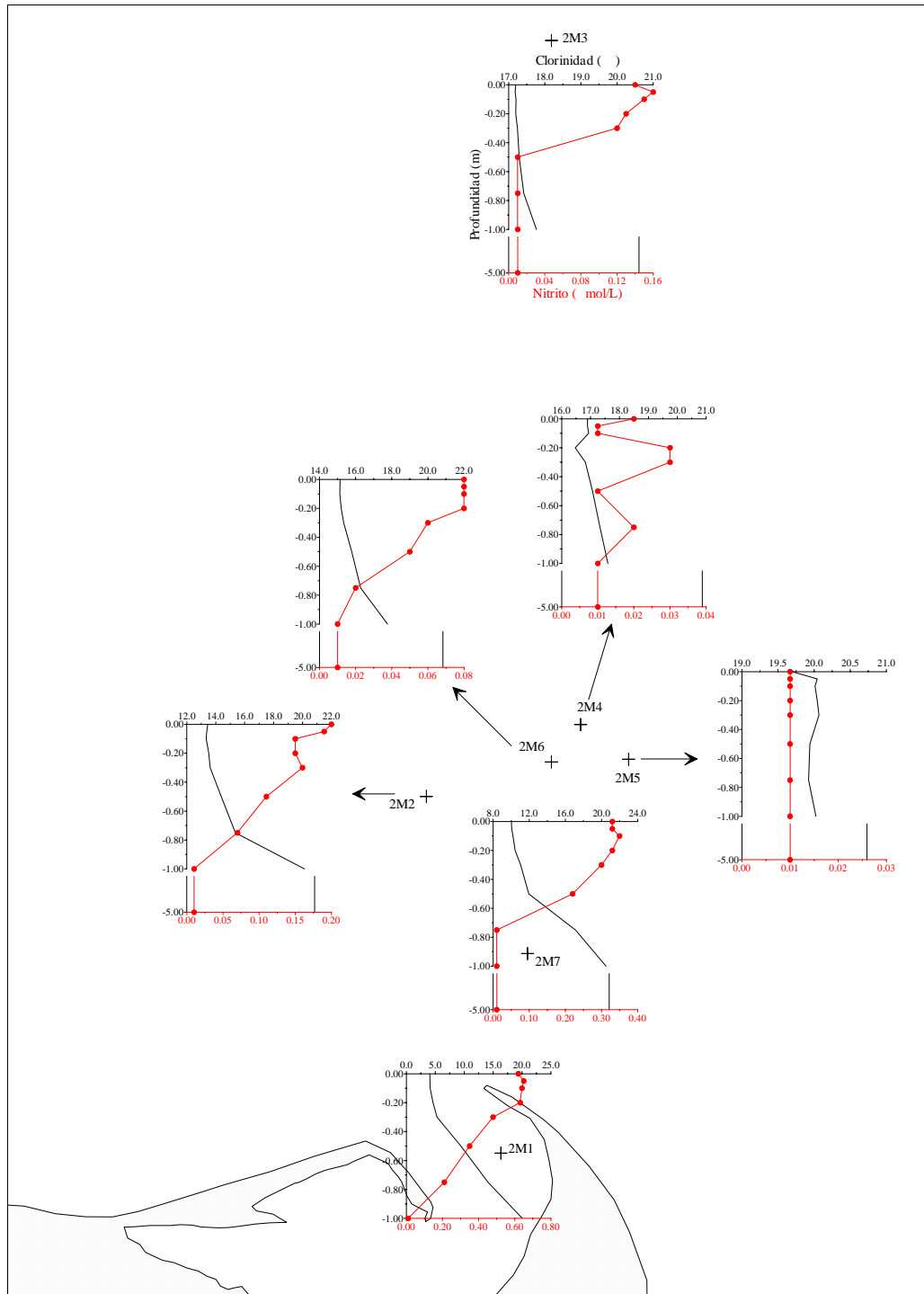


Figura 4.2.22. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 2.

El comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones se muestra en la figura 4.2.23. Podemos observar que en todas las estaciones el nitrito sufre pérdidas bastante acusadas. Éstas caben ser achacadas a la existencia de una alta absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación, procesos que no se ven compensados por otros que aumentarían su concentración. Esto provoca que a profundidades relativamente pequeñas (0.75-1.00 m) el nitrito

llegue a límites cercanos al agotamiento en todas las estaciones o incluso llegue a agotarse totalmente como es el caso de 2M5.

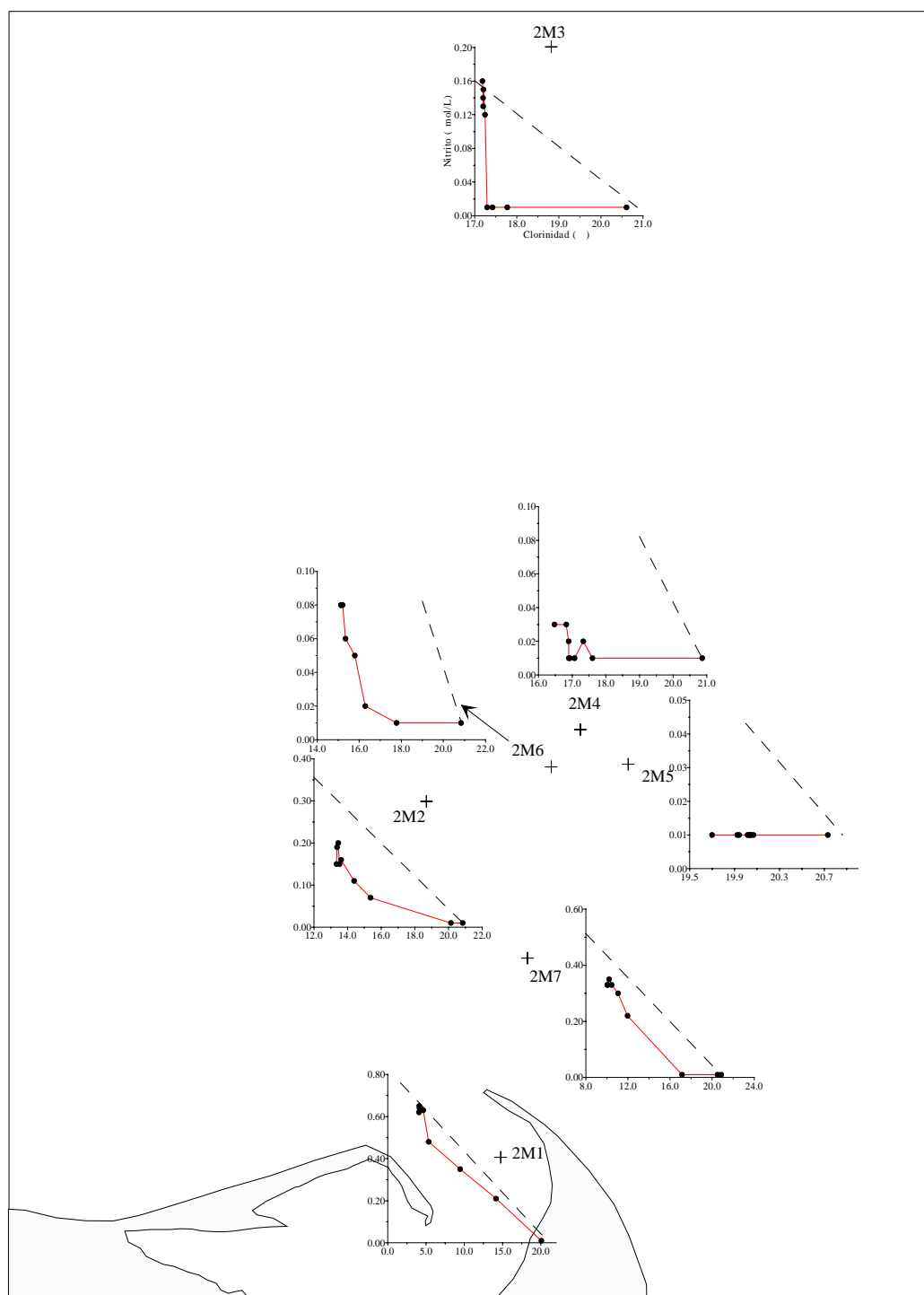


Figura 4.2.23. Comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

Esto mismo se observa en la figura 4.2.24, donde se representa el comportamiento global en toda la pluma estuarina. El nitrito sufre pérdidas muy acusadas debidas a la alta absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación, que

provocan que a clorinidades cercanas al 17‰ llegue a niveles cercanos al agotamiento.

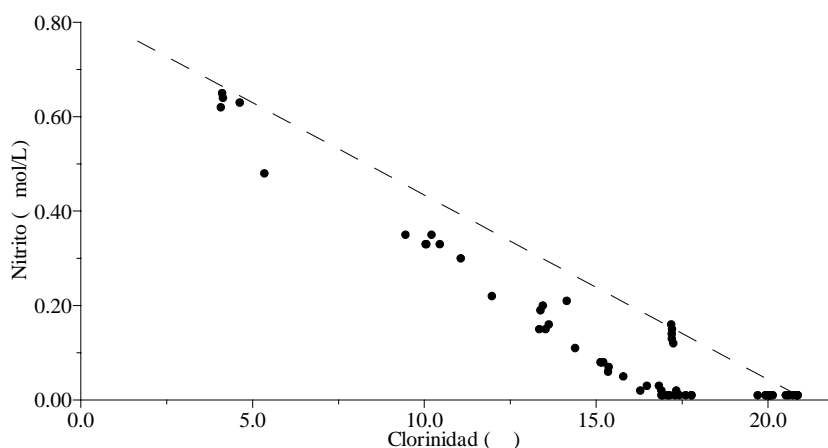


Figura 4.2.24. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.6.- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

Igual que ocurría en el muestreo anterior, los valores de NID tienen un rango de variación muy similar al del nitrato. El máximo se localiza en la estación 2M1 a 0.00 m de profundidad y es de 133.5 $\mu\text{mol/L}$, mientras que el mínimo corresponde a 0.7 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en 2M4 y 2M5 a 5.0 m. En la tabla 4.2.5 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en este muestreo.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	133.5	0.00	3.7	-1.00
2M7	75.1	0.00, -0.20	0.8	-5.0
2M2	54.0	0.00	1.0	-5.0
2M6	39.0	0.00	1.7	-5.0
2M4	25.2	0.00	0.7	-5.0
2M3	26.3	0.00	1.0	-5.0
2M5	5.1	0.00	0.7	-5.0

Tabla 4.2.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Como ya comentamos en el apartado 4.1.6, los altos valores de nitrato encontrados, en comparación con los del amonio y nitrito, provoca que las distribuciones y el comportamiento del NID sean aproximadamente iguales que las del nitrato. Así, las mayores concentraciones de este nutriente se localizan a nivel superficial en las estaciones de mayor influencia continental y las menores

en las capas más profundas de las de menor influencia fluvial. Las concentraciones van disminuyendo al hacerlo la influencia fluvial, al aumentar la profundidad y la clorinidad, como se aprecia en la figura 4.2.25 donde se muestra los perfiles encontrados en cada una de las estaciones. Éstos son similares a los encontrados para el nitrato, por lo que todo lo comentado para éste (apartado 4.2.4) es válido también para el NID.

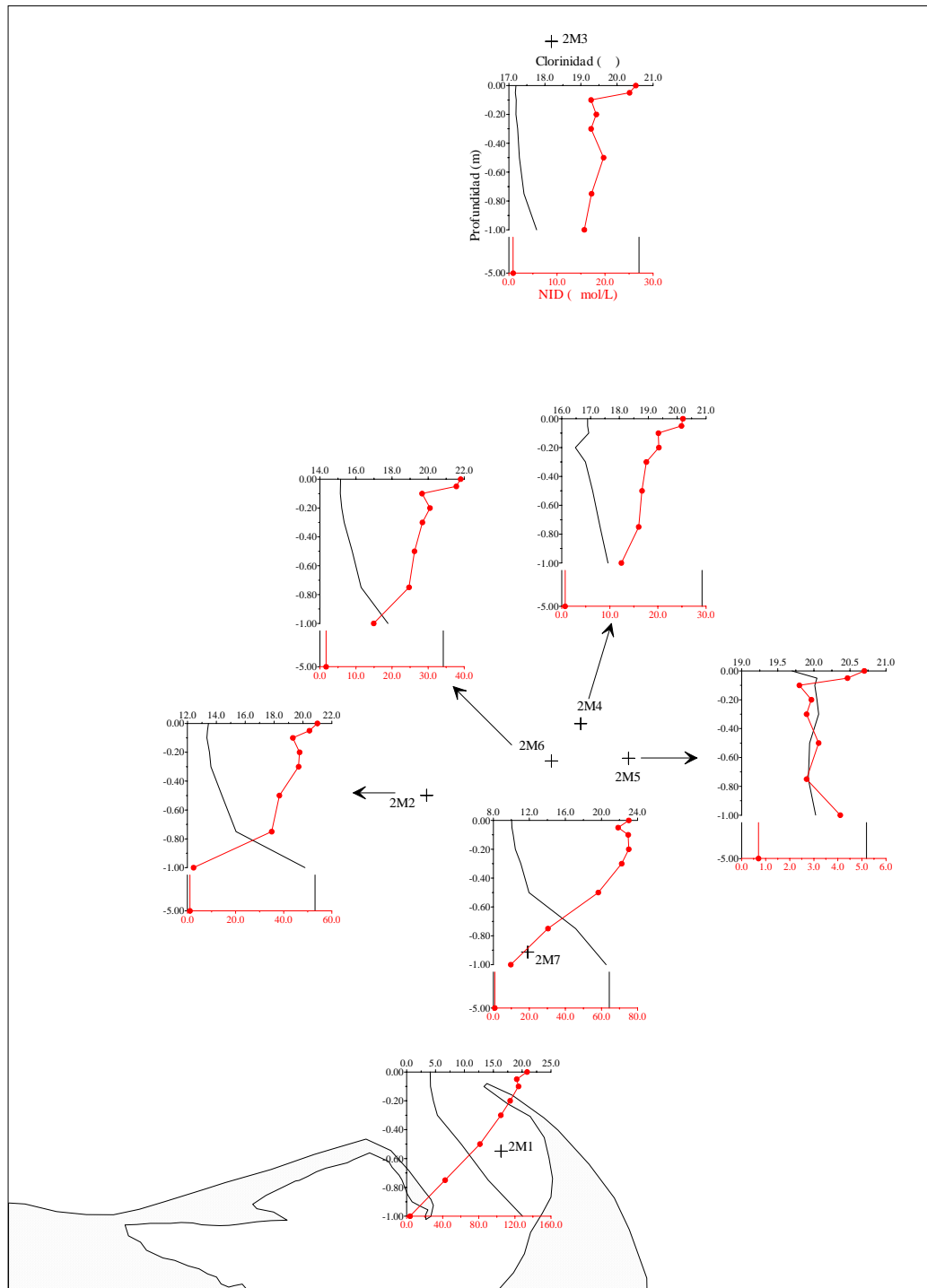


Figura 4.2.25. Perfiles verticales de NID. Muestreo 2.

En esta figura 4.2.25 se aprecian pequeñas discontinuidades en la capa de agua más superficial de todas las estaciones, achacables como ya se comentó para el caso del nitrato, a la gran actividad fitoplanctónica existente.

En la figura 4.2.26 se representa el comportamiento del NID en cada una de las estaciones.

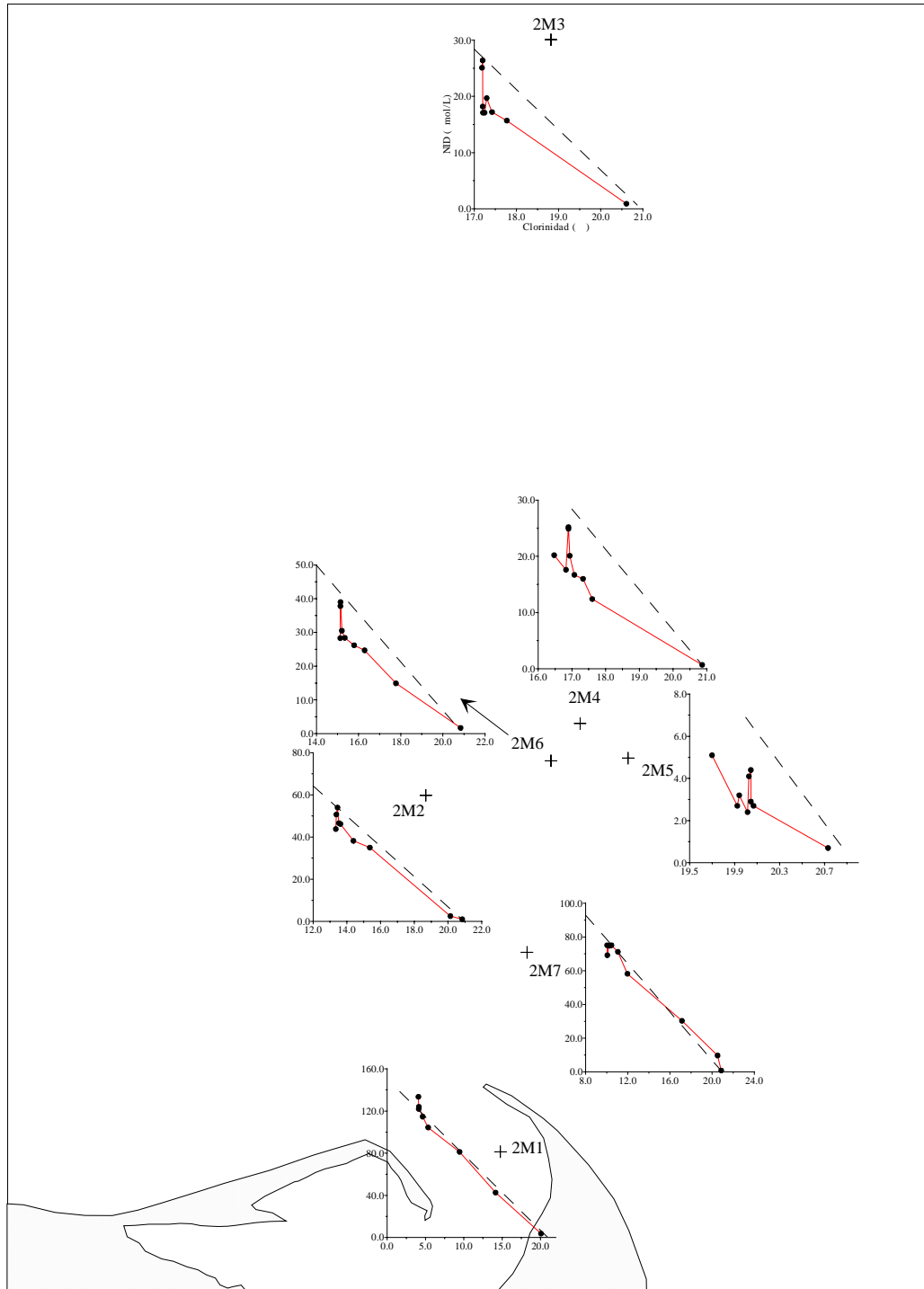


Figura 4.2.26. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

Al igual que ocurre con el nitrato las aguas fluviales no son totalmente determinantes en su distribución, encontrándose pequeñas desviaciones con respecto a lo que sería de esperar por la simple dilución de las aguas más dulces y cargadas de nutrientes con las más salinas y pobres en nutrientes. El comportamiento del NID en este muestreo es muy similar al del nitrato, siendo bastante conservativo en las dos estaciones de mayor influencia continental (2M1 y 2M7) y con pérdidas de diferente magnitud en las restantes. Estas últimas caben ser achacadas, como anteriormente comentamos, a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre otro tipo de procesos que aumentarían su concentración.

En la figura 4.2.27 se representa el comportamiento global del NID en la pluma estuarina, donde se observa el mismo comportamiento que para el nitrato debido a las razones ya apuntadas anteriormente. El comportamiento global del NID es bastante conservativo en el proceso de mezcla, disminuyendo su concentración linealmente al aumentar la clorinidad, encontrando solamente unas ligeras pérdidas en la capa de agua de mayor clorinidad debidas a la absorción fitoplanctónica.

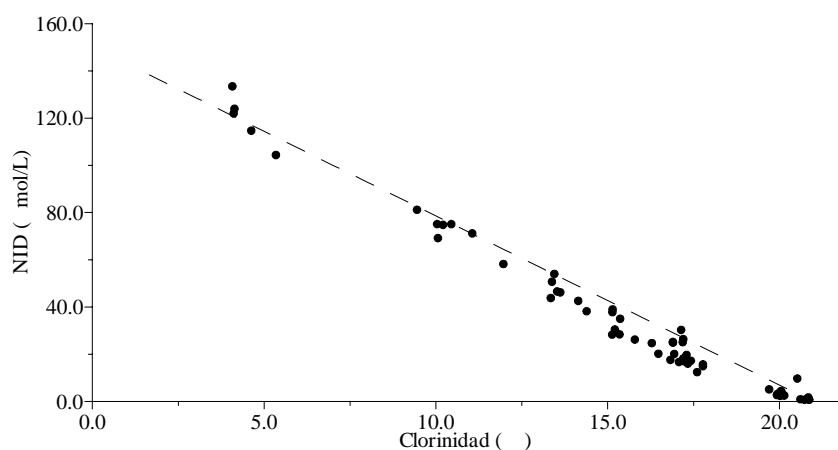


Figura 4.2.27. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

En este muestreo, y siguiendo el mismo criterio utilizado en el anterior, se han desechado algunos datos “anómalos” en los que los tres compuestos de fósforo estudiados no siguen la tónica esperada. En la tabla 4.2.6 se muestran estos valores desechados (subrayados) que no cumplen que la concentración de PSR sea menor o igual que la de PDT y esta última menor o igual que la de PT.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)
2M2-5.0	<0.03	<u>0.12</u>	0.05
2M5-0.05	0.09	0.40	<u>0.36</u>

Tabla 4.2.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 2.

La concentración de fósforo soluble reactivo (PSR) en este muestreo varía, exceptuando la muestra superficial de 2M5, desde un máximo de $1.40 \mu\text{mol/L}$ a 0.05 m en la estación 2M1 hasta unos valores mínimos inferiores a $0.03 \mu\text{mol/L}$ en todas las estaciones (excepto 2M1) a diversas profundidades. En la tabla 4.2.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	1.40	-0.05	0.32	-1.00
2M7	0.58	-0.50	<0.03	-1.00, -5.0
2M2	0.52	0.00, -0.30	<0.03	-1.00, -5.0
2M6	0.23	-0.05	<0.03	-1.00, -5.0
2M4	0.15	-0.05	<0.03	-0.75, -5.0
2M3	0.07	-0.10, -0.75	<0.03	-0.05, -5.0
2M5	3.20 1.24	0.00 -0.75	<0.03	-0.20, -0.30

Tabla 4.2.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Evidentemente, y como era de esperar, las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia continental, y dentro de ellas a menor profundidad ya que por la diferencia de densidad las aguas dulces van por superficie, siendo menores en las de menor influencia. La excepción es la estación 2M5, que siendo la de menor influencia continental y situada fuera de la pluma estuarina, posee unos valores relativamente altos a unas profundidades de 0.00 y 0.75 m , achacables en principio a algún tipo de aporte foráneo. Era de esperar las bajas concentraciones de PSR encontradas en la mayoría de estaciones, llegando incluso al agotamiento, pues ya el nitrato presentaba ciertas pérdidas y es el fósforo el nutriente limitante en esta zona (como posteriormente comprobaremos),

con lo que es lógico pensar en la gran absorción fitoplanctónica que se produce en este muestreo.

Como observamos en la figura 4.2.27 (donde hemos eliminado el valor de 2M5 a 0.00 m) estas concentraciones van disminuyendo al aumentar la clorinidad y por tanto la influencia continental. Al movernos hacia los extremos de la pluma, su concentración va disminuyendo debido a la dilución con las aguas salinas oligotróficas.

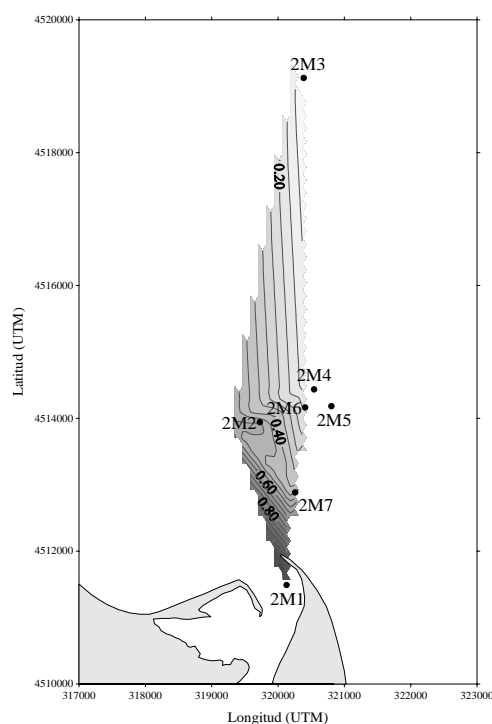


Figura 4.2.27. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 2.

En la figura 4.2.28 se muestra un corte vertical de la columna de agua hasta la profundidad de 1.00 m para el transecto 2M1-2M3. La concentración tiende a disminuir progresivamente al aumentar la profundidad, aunque con diversas variaciones sobre todo en la capa de agua más superficial.

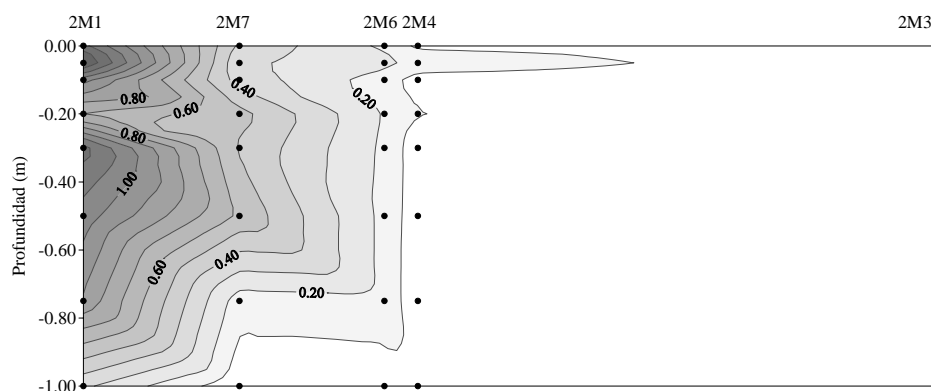


Figura 4.2.28. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 2M1-2M3.

En la figura 4.2.29 se representa los perfiles encontrados para cada una de las estaciones.

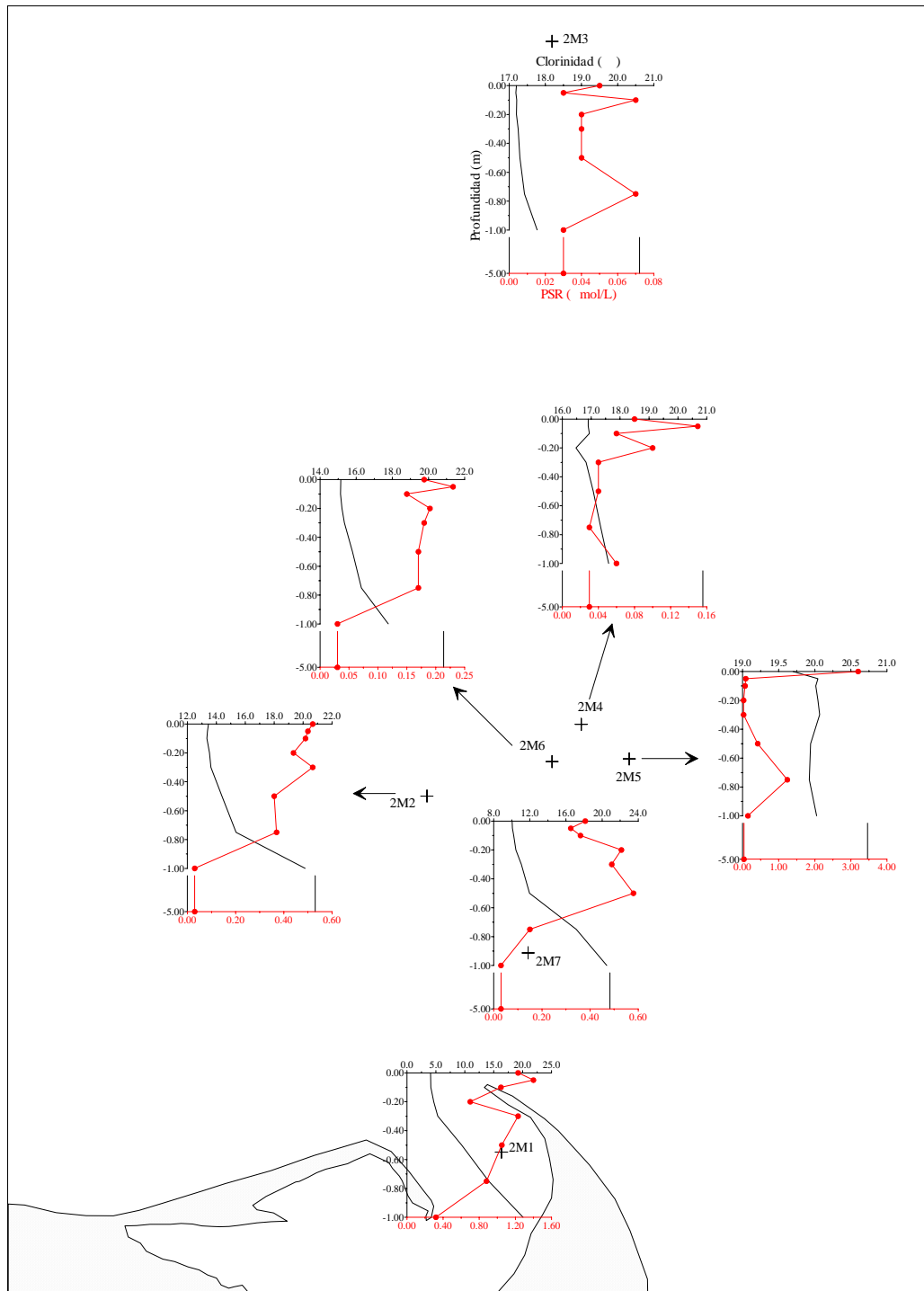


Figura 4.2.29. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 2.

Aunque la pauta general es disminuir la concentración al aumentar la profundidad, en todas las estaciones se encuentran grandes discontinuidades en dos zonas diferenciadas, lo que nos indica que la concentración de este nutriente no está afectada solamente por la mezcla física:

- Las primeras se encuentran en la capa más superficial, a distintas profundidades (0.00-0.20 m) y en todas las estaciones (excepto 2M5) que pueden ser achacadas como otras veces al movimiento y actividad del fitoplancton en esta delgada capa de agua.

- En un nivel más profundo (0.75-1.00 m) se encuentran algunos aumentos de concentración en 2M3 y 2M4, que no son de gran magnitud ya que el resto de los puntos presenta bajas concentraciones, y por tanto es fácil que las excreciones de autótrofos y heterótrofos y la desorción de partículas suspendidas produzcan estos cambios, o simplemente que en estas zonas la absorción haya sido menor. Esto parece más probable ya que, como veremos más adelante, nos estamos moviendo en un rango N/P claramente superior al fluvial, lo que nos indica una elevada absorción planctónica.

- Un caso aparte es el de la estación 2M5, donde los elevados valores en 0.00 y 0.75 m de profundidad también se encuentran en el PDT y en el PT, como posteriormente veremos. La única explicación posible es que los acúmulos de detritos asociados a la interfase superficial de la pluma hayan dado lugar a un aporte extra de fósforo, aunque también podría deberse a una contaminación de la muestra ya que no hay un pico similar de amonio.

Todas estas discontinuidades también se observan en la figura 4.2.30, donde se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones. Aunque en todas ellas las concentraciones de PSR disminuyen al aumentar la clorinidad, su comportamiento varía entre las diferentes estaciones. De hecho tenemos desde estaciones donde parecen darse ganancias, como sucede en 2M1, otras en las que parecen existir pérdidas en todos los puntos (2M6, 2M4 y 2M3), pasando por situaciones más próximas a la mezcla pura como sucede en 2M2 o estaciones con una zona de pérdidas y otra conservativa (2M7).

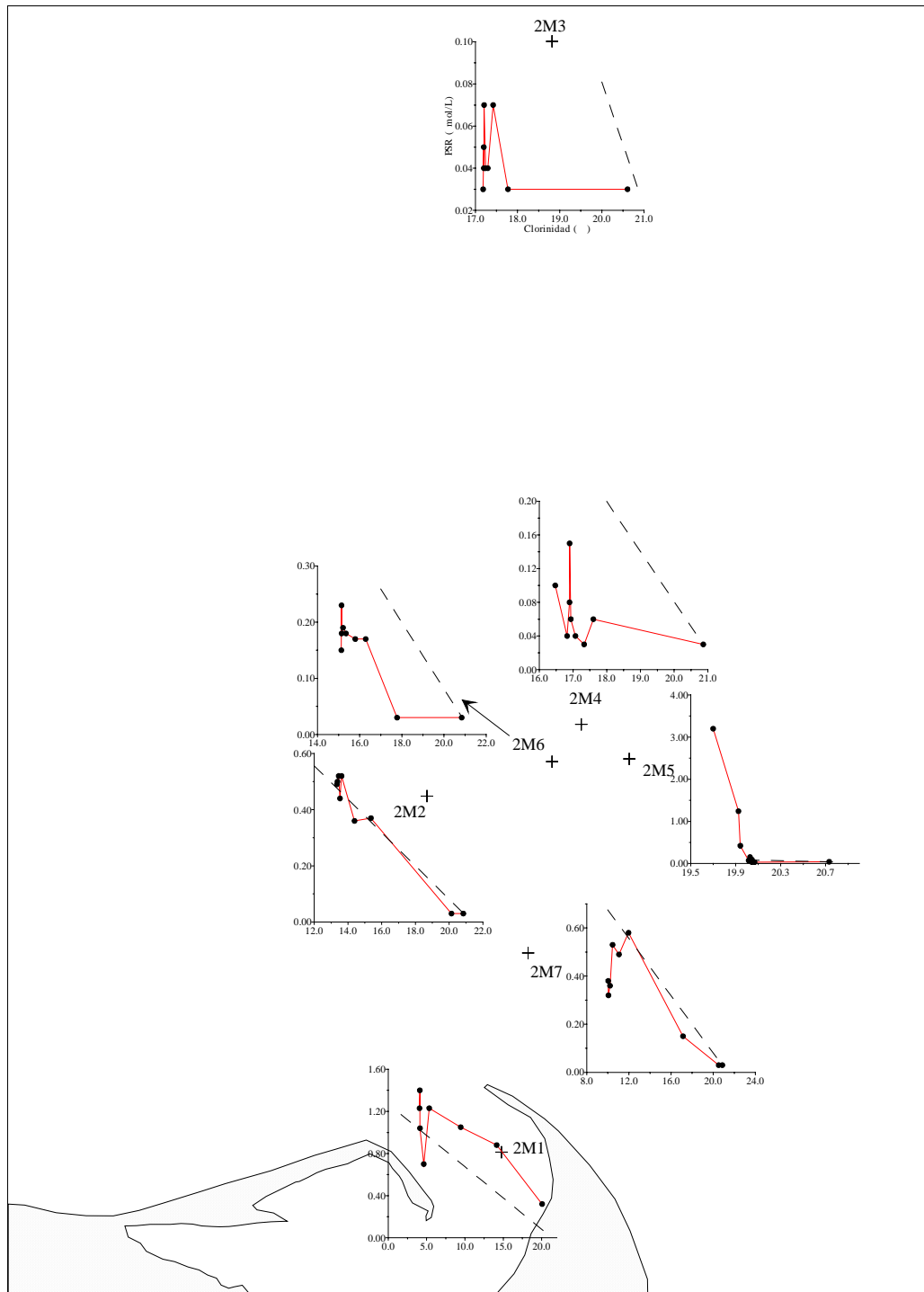


Figura 4.2.30. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

Ahora bien, consideramos que este muestreo es un ejemplo claro de las deficiencias que presenta esta metodología, por los errores derivados de la incertidumbre debida a la elección del valor de referencia en agua dulce. Bajo nuestro punto de vista este valor debería ser claramente más elevado que el que se representa en las gráficas. Esta hipótesis viene refrendada por tres razones fundamentales:

1.- El comportamiento de todas las formas de fósforo (y en especial el PT) en 2M1. Si observamos la figura 4.2.40 podemos ver que se dan ganancias de PT a lo largo de toda la columna de agua y, evidentemente, esto es imposible. Se podría admitir que las hubiera en la parte baja como consecuencia del shock salino y la sedimentación subsiguiente de organismos planctónicos, pero ello implicaría necesariamente pérdidas en la zona superficial donde estos aportes se originan.

2.- Como posteriormente veremos, los valores de la relación NID/PSR muestran un proceso claro de absorción y los contenidos de clorofila son elevados. De hecho 2M2, con unos valores de clorofila *a* promedios en torno a los 4 µg/l, nos muestra un comportamiento de PSR casi conservativo e incluso ganancias reducidas en la capa superficial. Ante esto surge una cuestión, o bien el valor de referencia es erróneo o hemos encontrado unas células fitoplanctónicas capaces de crecer sin fósforo. Como esto último es imposible no cabe sino optar por la primera hipótesis.

3.- Mientras que la curva general de PSR frente a la clorinidad (figura 4.2.31) está mucho más cercana al comportamiento conservativo que la del nitrato (figura 4.2.19), sorprendentemente en la zona de mayores pérdidas de nitrato se da un aumento de la relación NID/PSR, como posteriormente veremos, lo que solo podría justificarse por que las pérdidas de PSR son mayores que las del nitrato.

Por todo ello, y considerando errónea la línea de mezcla ideal de origen fluvial, es muy probable que se produzca una alta absorción planctónica en todas las estaciones provocando pérdidas que serán mayores en unas que en otras. Solamente en 2M5 encontramos un comportamiento diferente por los elevados valores encontrados en las muestras de menor clorinidad, cuya explicación podría ser, como ya se apuntó, que los acúmulos de detritos asociados a la interfase superficial de la pluma hayan dado lugar a un aporte extra de fósforo.

En la figura 4.2.31 se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla englobando las 7 estaciones de la pluma estuarina, donde el extremo dulce de la línea de mezcla de origen fluvial debería tener una mayor concentración, como anteriormente comentamos. Así, el consumo y asimilación

del fosfato por parte de los diversos organismos planctónicos predomina sobre otro tipo de procesos que aumentarían su concentración, provocando pérdidas. Pero existe un cierto número de muestras provenientes de la estación 2M5 que son mayores de lo que cabía esperar, pudiendo ser achacadas a un aporte extra de fósforo de los acúmulos de detritos asociados a la interfase superficial de la pluma.

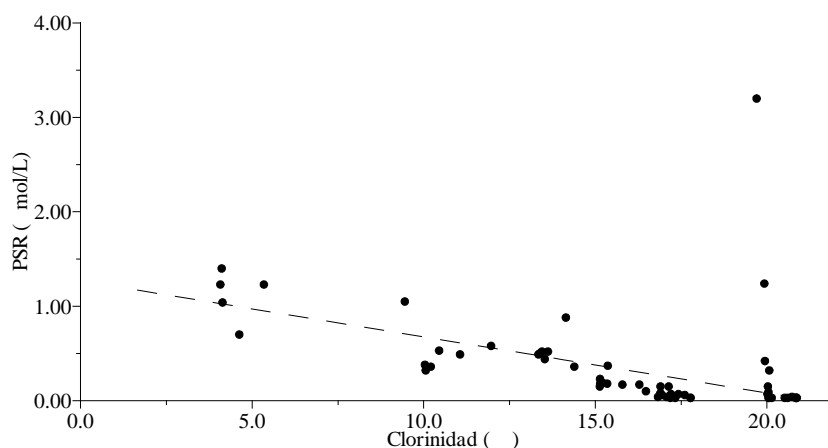


Figura 4.2.31. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

La concentración de fósforo disuelto total (PDT) varía, excluyendo la muestra a 0.00 m de la estación 2M5, desde un máximo de 1.83 $\mu\text{mol/L}$ en 2M1 a 0.20 m de profundidad hasta unos mínimos inferiores a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en las estaciones 2M7, 2M6, 2M4, 2M3 y 2M5 a las mayores profundidades, excepto en 2M5 que se localiza a 0.30 m. En la tabla 4.2.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	1.83	-0.20	0.30	-1.00
2M7	0.74	-0.05	<0.03	-5.0
2M2	0.82	-0.20	0.08	-1.00
2M6	0.44	-0.05	<0.03	-5.0
2M4	0.27	-0.20	<0.03	-5.0
2M3	0.27	-0.20	<0.03	-5.0
2M5	3.74 1.37	0.00 -0.75	<0.03	-0.30

Tabla 4.2.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Como ocurre con el PSR la estación de mayor influencia fluvial (2M1) es la que posee una mayor concentración de PDT. Al ir disminuyendo la influencia continental estas concentraciones también lo hacen debido a la dilución con las aguas salinas de menor concentración, hasta llegar a valores cercanos al agotamiento en algunas estaciones a mayor profundidad, como se observa en la figura 4.2.32 donde se representa la distribución superficial.

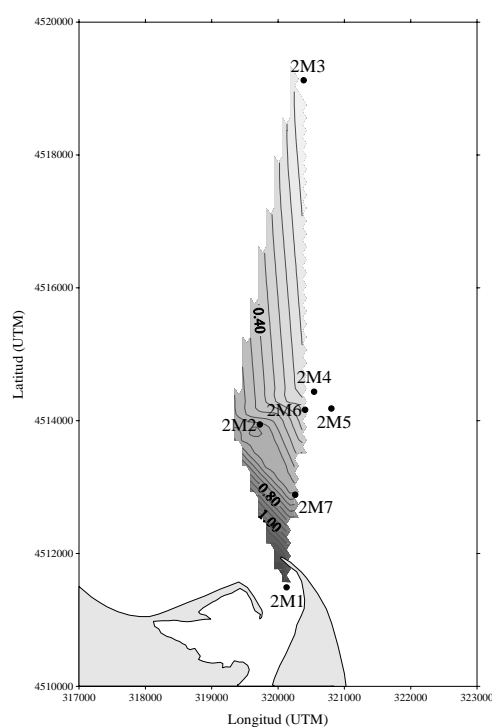


Figura 4.2.32. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 2.

En la figura 4.2.33 se muestra un corte vertical de la columna de agua hasta la profundidad de 1.00 m para el transecto 2M1-2M3, donde podemos comprobar la pauta de disminución de la concentración de PDT al aumentar la profundidad.

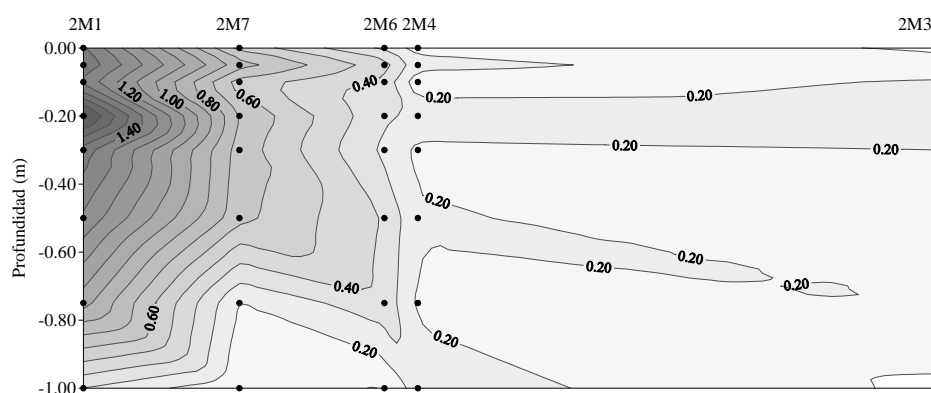


Figura 4.2.33. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 2M1-2M3.

Su concentración disminuye con la profundidad en la mayoría de las estaciones, pero encontramos diversas desviaciones de esta pauta general sobre

todo en la capa de agua más superficial. Estas desviaciones se observan más claramente en la figura 4.2.34, donde se ha representado los perfiles encontrados en cada una de las estaciones.

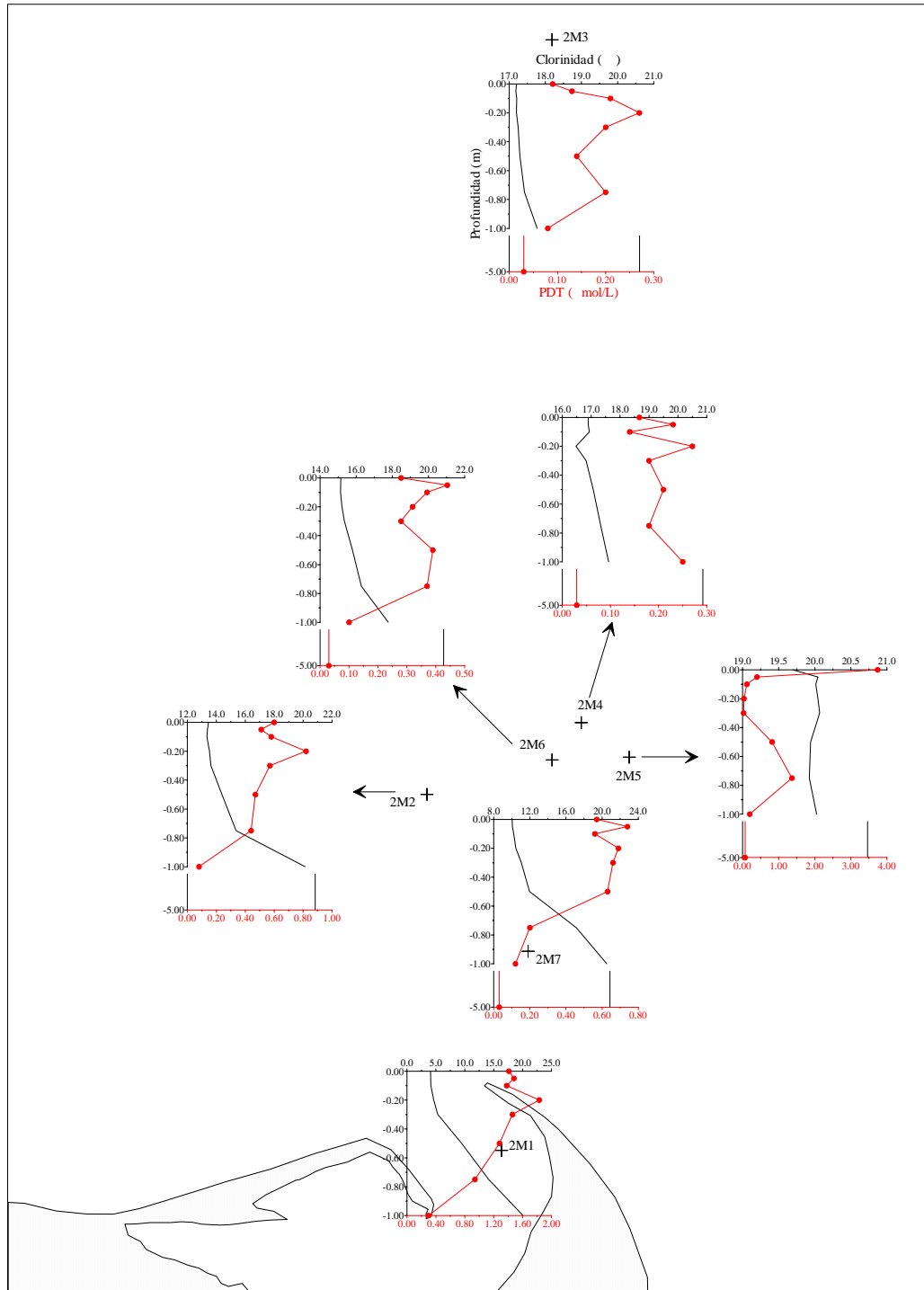


Figura 4.2.34. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 2.

La existencia de estas desviaciones en su concentración a diversas profundidades nos indica que este nutriente no está afectado solamente por la

dilución con las aguas salinas menos cargadas de nutrientes. Se observan diferentes perfiles entre estaciones:

- En las de mayor influencia continental (2M1, 2M7 y 2M2) se encuentran desviaciones en sus perfiles sobre todo en las capas de agua más superficiales (hasta 20 cm).

- En el resto de estaciones (2M6, 2M4, 2M3 y 2M5), que poseen menor influencia fluvial, encontramos desviaciones en dos zonas diferentes de la columna de agua, en las capas más superficiales (0.00-0.20 m) y a mayores profundidades (0.50-1.00 m). Es de resaltar el gran aumento que se produce en 2M5 a 0.00 y 0.75 m de profundidad, y que también se producía en el PSR.

Debido a que el PDT engloba tanto las formas inorgánicas (asimilables a PSR) como las orgánicas (POD), las variaciones en el PDT pueden deberse a variaciones de cualquiera de las dos formas de fósforo disuelto, pues algunos de estos picos coinciden con los de PSR (figura 4.2.29) y otros no. En una primera aproximación en las capas más superficiales de las estaciones 2M8, 2M6 y 2M4 y en toda la columna de agua de 2M5 las desviaciones que se producen en el PDT parecen deberse a variaciones en el PSR. La alta resolución del sistema de muestreo y la influencia de los movimientos de la comunidad planctónica tanto los derivados de su actividad y/o motilidad propia como los de procesos de sedimentación, hacen difícil establecer una relación causal, más aun si tenemos en cuenta la inexistencia de datos comparables en la bibliografía y los errores que tiene el método analítico de digestión del PDT y PT.

En la figura 4.2.35 se muestra el comportamiento del PDT en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones, donde su concentración disminuye al aumentar la clorinidad en todas ellas. Como comentamos anteriormente para el caso del PSR, consideramos errónea la línea de mezcla de origen fluvial representada. Así es de esperar que en todas las estaciones (excepto en 2M5) se produzcan pérdidas más o menos acusadas, que cabe achacar sobre todo a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre otros procesos que harían que su concentración aumentara. Los altos valores encontrados en la estación 2M5

podrían ser debidos, como anteriormente comentamos, a los acúmulos de detritos asociados a la interfase superficial de la pluma, dando lugar a un aporte extra de fósforo.

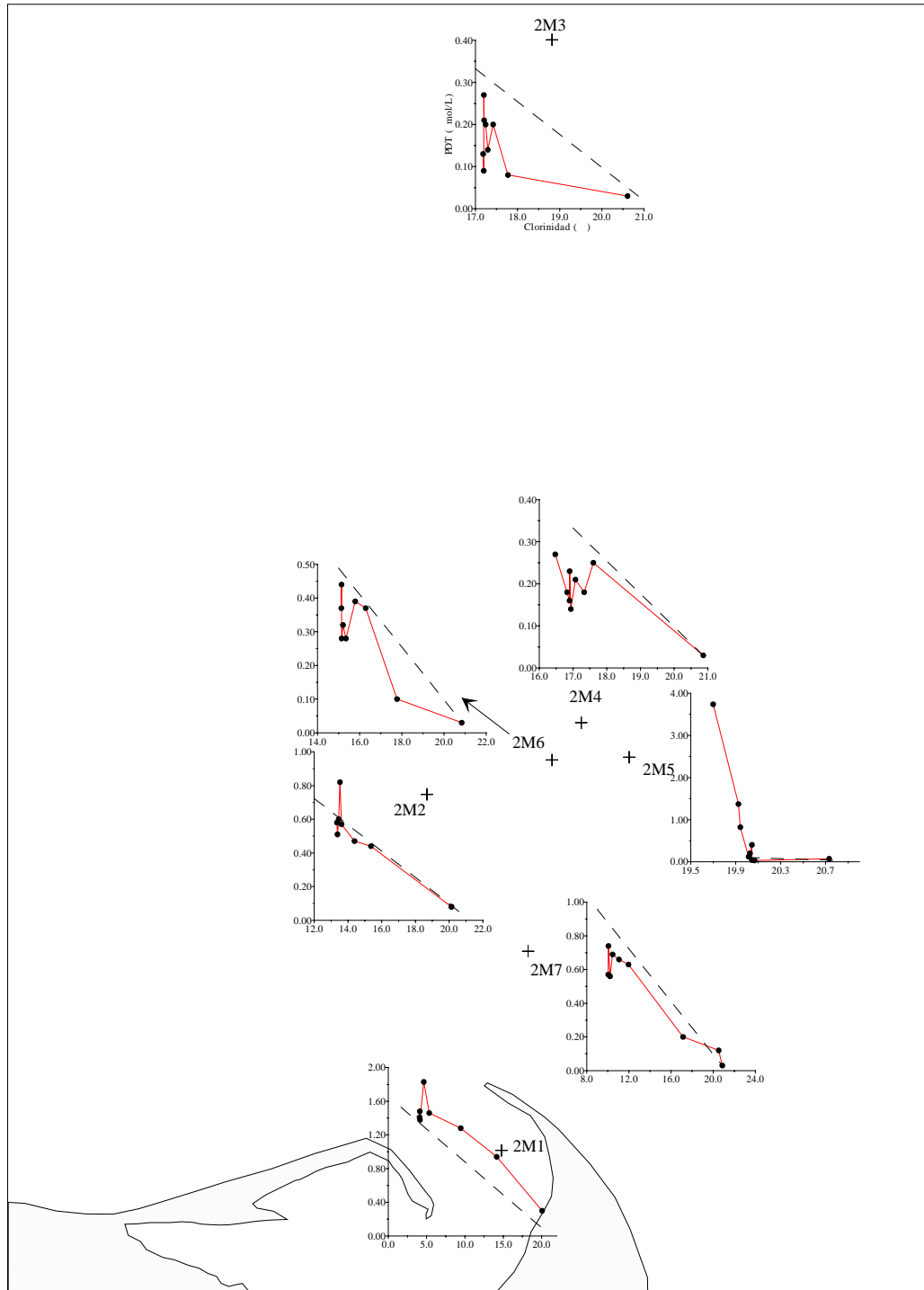


Figura 4.2.35. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

En la figura 4.2.36 se ha representado el comportamiento global en la pluma estuarina, donde el predominio de la absorción fitoplanctónica provoca ciertas pérdidas en el proceso de mezcla. Las elevadas concentraciones que se encuentran

en la parte más salina de la pluma fluvial son las de la estación 2M5, cuya causa ya se ha analizado anteriormente.

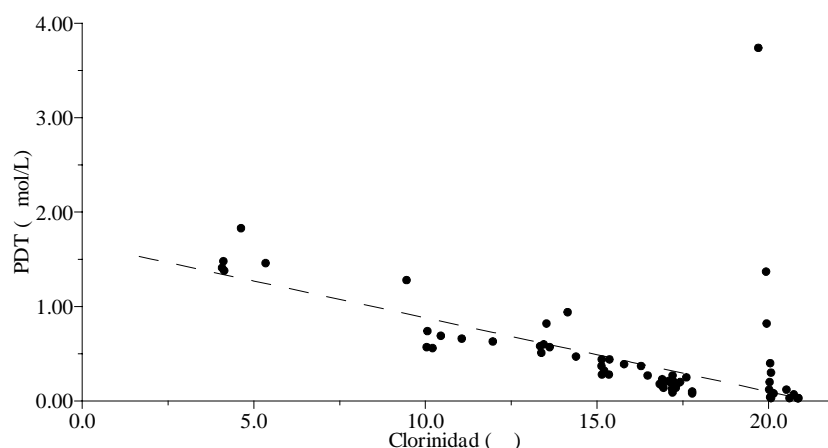


Figura 4.2.36. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.9.- Fósforo Total (PT)

La concentración de PT posee un rango de variación en este muestreo, excluyendo la muestra a 0.00 m de 2M5, desde un máximo de 2.13 $\mu\text{mol/L}$ a las profundidades de 0.10 y 0.50 m en la estación 2M1, hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ a 5.0 m en 2M3. En la tabla 4.2.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	2.13	-0.10, -0.50	0.65	-1.00
2M7	1.38	0.00	0.03	-5.0
2M2	1.20	-0.20	0.05	-5.0
2M6	0.98	-0.50	0.13	-5.0
2M4	0.59	0.00	0.05	-5.0
2M3	0.55	-0.30	<0.03	-5.0
2M5	3.82 1.70	0.00 -0.75	0.16	-0.30

Tabla 4.2.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Los mayores valores de PT se localizan como en la mayoría de los nutrientes en la estación más cercana a la boca del río Ebro, 2M1, disminuyendo éstos al hacerlo la influencia continental. Como ya hemos comentado para el PSR y para el PDT, es de destacar los elevados valores encontrados en 2M5 a 0.00 y

0.75 m de profundidad. En la figura 4.2.37, donde se representa la distribución superficial, observamos que la concentración de PT va disminuyendo progresivamente al alejarnos de la boca del río Ebro, siguiendo como era de esperar un comportamiento contrario a la clorinidad.

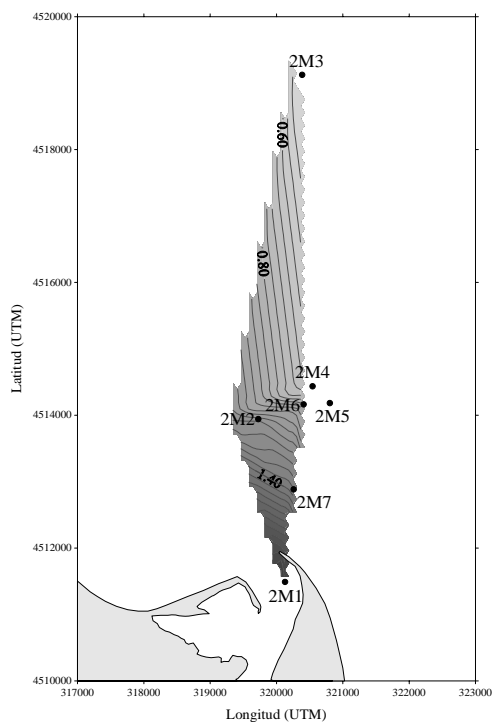


Figura 4.2.37. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 2.

Esta disminución de la concentración al hacerlo la influencia continental también queda patente en la figura 4.2.38, donde se representa la distribución vertical en el transecto 2M1-2M3 hasta 1.00 m de profundidad.

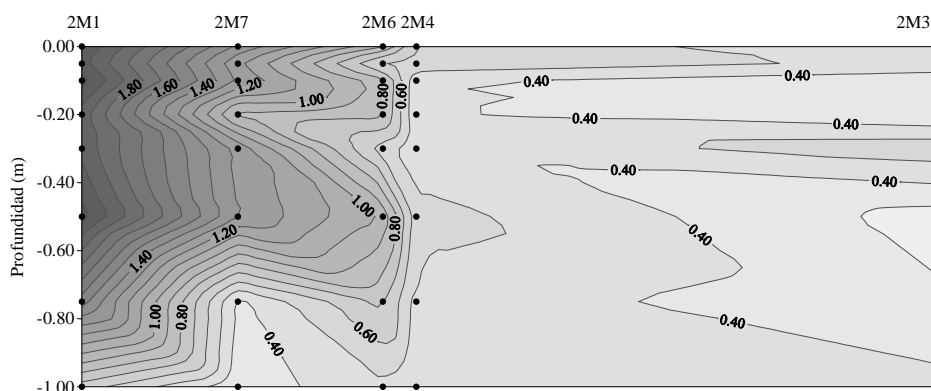


Figura 4.2.38. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 2M1-2M3.

En esta figura 4.2.38 se observa también que la concentración parece disminuir gradualmente al aumentar la profundidad, aunque encontramos diversas desviaciones a diferentes profundidades. Vemos que parece haber una disminución mayor de lo esperado en varias capas de agua, la más superficial

(0.05 m) y a 20 cm, lo que nos indica que no solamente la descarga del río tiene influencia en la concentración de PT.

En la figura 4.2.39 se representa los perfiles verticales de este parámetro en cada una de las estaciones.

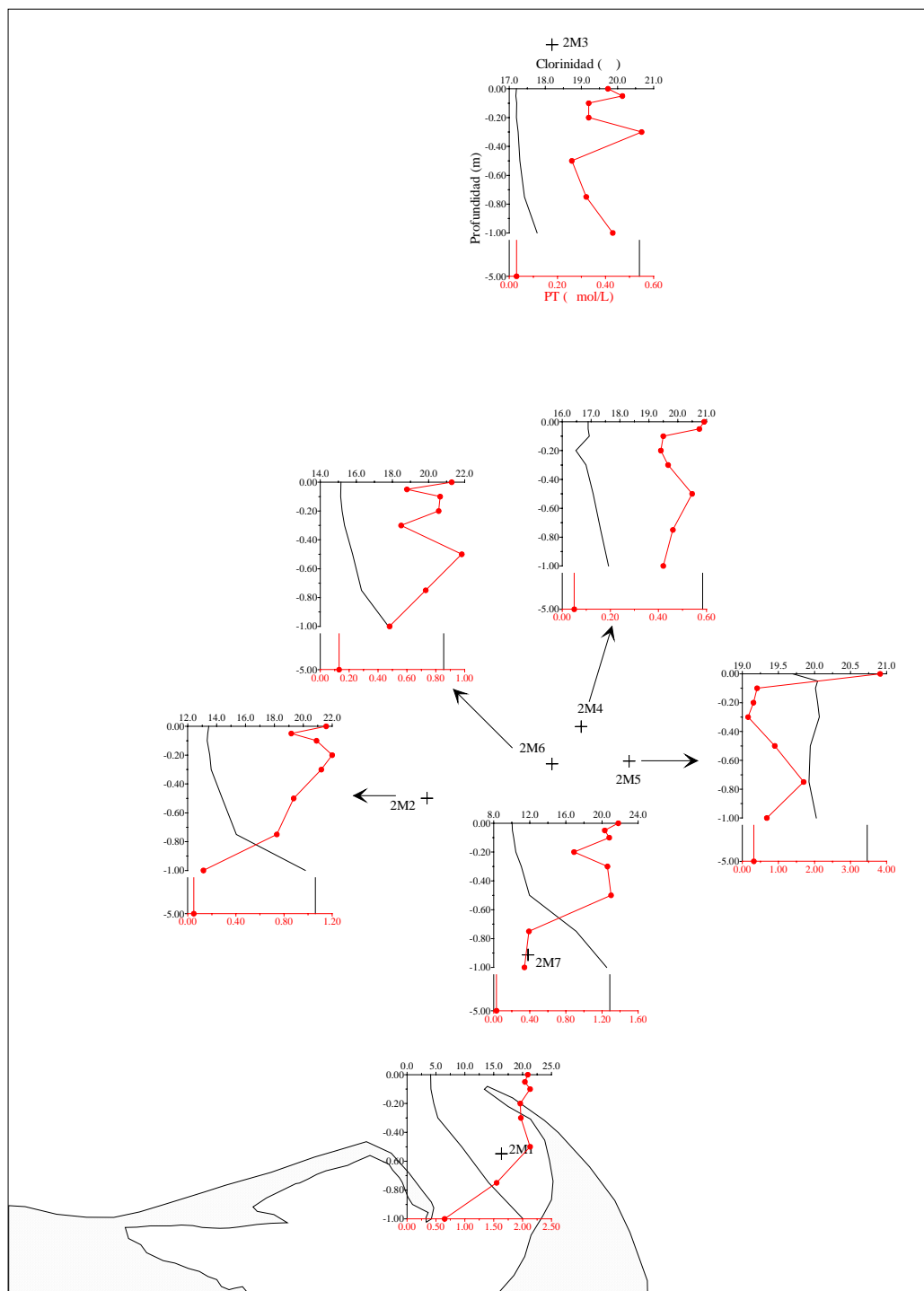


Figura 4.2.39. Perfiles verticales de PT. Muestreo 2.

Aunque la pauta general es de disminuir la concentración al aumentar la profundidad, vemos que en todas las estaciones se producen desviaciones de diferente magnitud, que se producen tanto en las capas más superficiales como en las más profundas. Las desviaciones más relevantes son las que tienen lugar en 2M1 entre 0.00 y 0.50 m, en 2M7 entre 0.30 y 0.50 m, en 2M2 entre 0.00 y 0.20 m, en 2M6 entre 0.10 y 0.20 y a 0.50 m, en 2M4 entre 0.30 y 0.75 m, en 2M3 a 0.30 y a 1.00 m y en 2M5 entre 0.50 y 1.00 m.

Recordando que el PT engloba tanto las formas disueltas (PDT) como las particuladas (PP), las desviaciones que se producen en sus perfiles pueden venir dadas por desviaciones en cualquiera de las dos formas de fósforo.

Si comparamos los perfiles encontrados para el PDT (figura 4.2.34) y para el PT (figura 4.2.39) vemos que solamente en las estaciones 2M2 y 2M5 estos perfiles coinciden. Sin embargo en el resto de estaciones son bastante diferentes. Así podemos decir que, al igual que ocurría en el muestreo anterior, las desviaciones de PT encontradas parecen tener su origen más en las formas particuladas (PP) que en las disueltas (PDT).

En la figura 4.2.40 se muestra la variación del PT con la clorinidad. En todas las estaciones las concentraciones de PT disminuyen gradualmente al aumentar la clorinidad, aunque de todas maneras se encuentran pequeños aumentos y disminuciones en las capas de agua más superficiales en todas las estaciones. Como ya comentamos anteriormente, caso aparte merece la estación 2M5, donde los acúmulos de detritos asociados a la interfase superficial de la pluma pueden haber dado lugar a un aporte extra de fósforo.

Pero, como ya se ha indicado para el caso del PSR y PDT, consideramos que la línea de mezcla ideal de origen fluvial es errónea, y es de esperar que en todas las estaciones el comportamiento general sea bastante más conservativo que el del PSR y PDT.

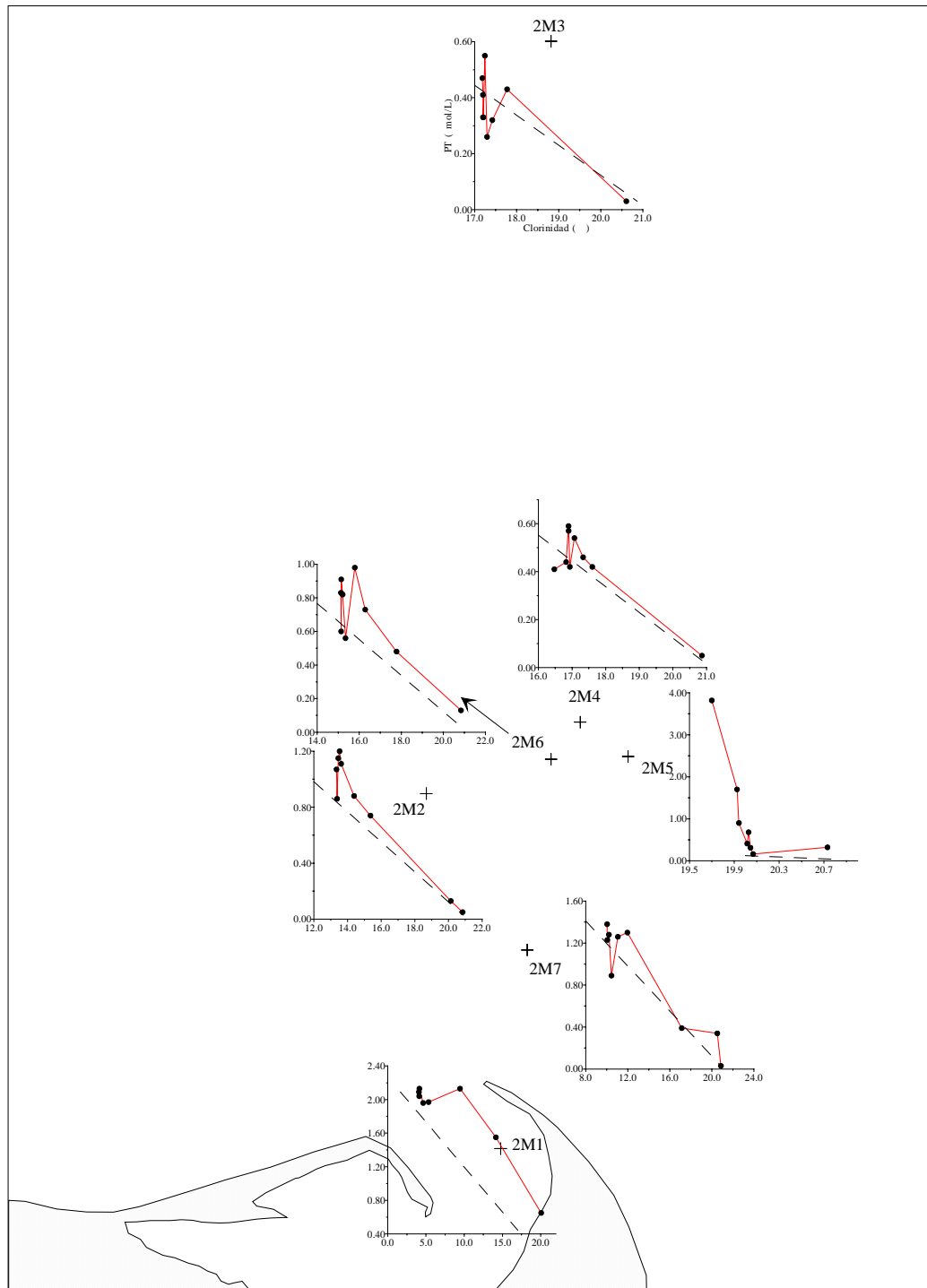


Figura 4.2.40. Variación de la concentración de PT con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

En la figura 4.2.41 se muestra la variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina, observando una disminución gradual al aumentar la clorinidad con diversos aumentos en la capa más salina debido a las muestras de la estación 2M5.

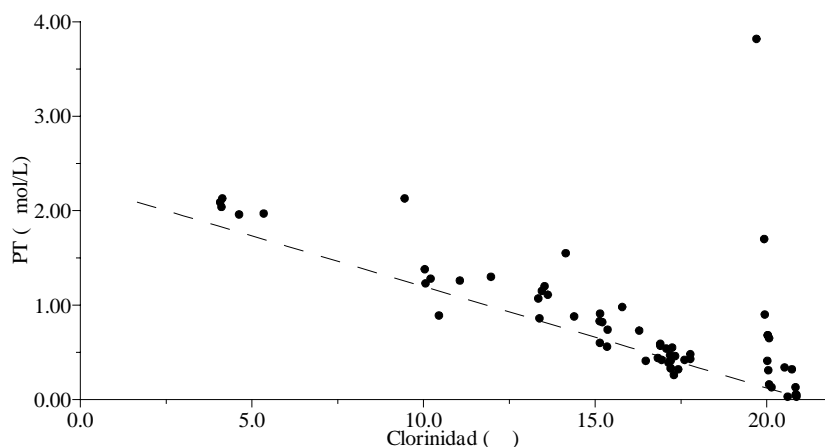


Figura 4.2.41. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.10.- Ácido Ortosilícico

La concentración de ácido ortosilícico en este muestreo posee un rango de variación desde un máximo de 51.0 $\mu\text{mol/L}$ a 0.00 m de profundidad en la estación 2M1 hasta un mínimo con un valor de 0.4 $\mu\text{mol/L}$ en las estaciones 2M7 y 2M4 a 5.0 m de profundidad. En la tabla 4.2.10 se muestra los valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
2M1	51.0	0.00	4.2	-1.00
2M7	31.0	0.00, -0.05	0.4	-5.0
2M2	27.0	-0.10	0.6	-5.0
2M6	17.0	0.00	0.7	-5.0
2M4	12.6	0.00	0.4	-5.0
2M3	11.1	-0.05	0.6	-5.0
2M5	2.9	-0.50	0.7	-5.0

Tabla 4.2.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Lo primero que se ha de destacar con respecto al muestreo anterior es la inexistencia de valores menores al límite de detección del método analítico, es decir, el no agotamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Como era de esperar, y al igual que ocurre con el resto de los nutrientes, la estación 2M1 es la que posee mayor concentración de ácido ortosilícico al ser la de mayor influencia fluvial. Esta concentración disminuye progresivamente al hacerlo la influencia

continental, como se observa tanto en la distribución horizontal (figura 4.2.42) como en la vertical (figura 4.2.43).

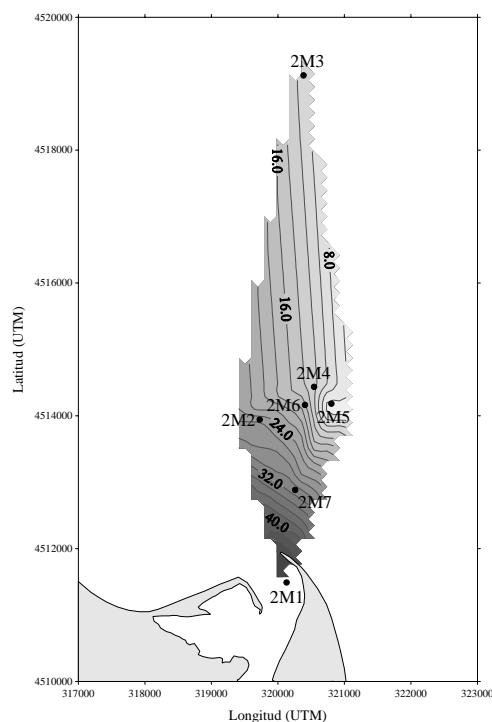


Figura 4.2.42. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 2.

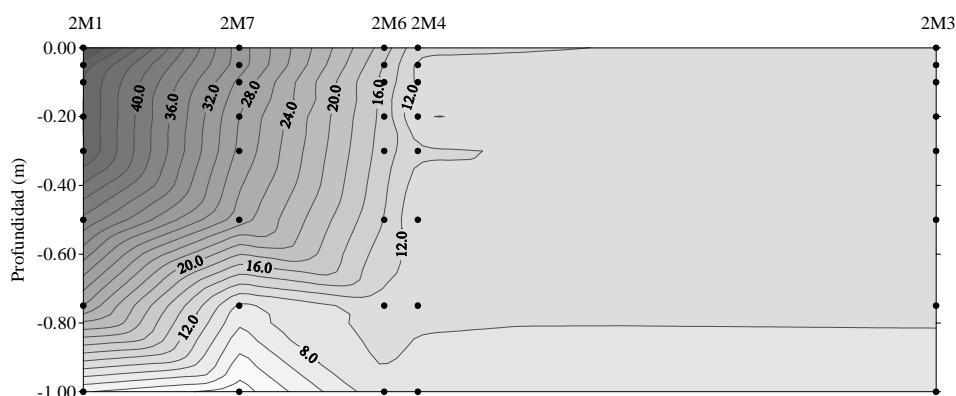


Figura 4.2.43. Distribución espacial de ác.ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 2M1-2M3.

En esta figura 4.2.43 se aprecia la esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad, disminución que también se observa en la figura 4.2.44, donde se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones. En un par de ellas se encuentran algunos aumentos y/o disminuciones a diversas profundidades, en 2M2 y 2M4 en los 30 cm más superficiales y en 2M5 en los primeros 50 cm de la columna de agua. El menor número de irregularidades que presenta tanto la distribución vertical como el comportamiento en la mezcla que veremos posteriormente, se debe probablemente al bajo contenido en diatomeas

de la proliferación planctónica y de aquí que en este caso no se den tantas anomalías como en los nutrientes anteriores.

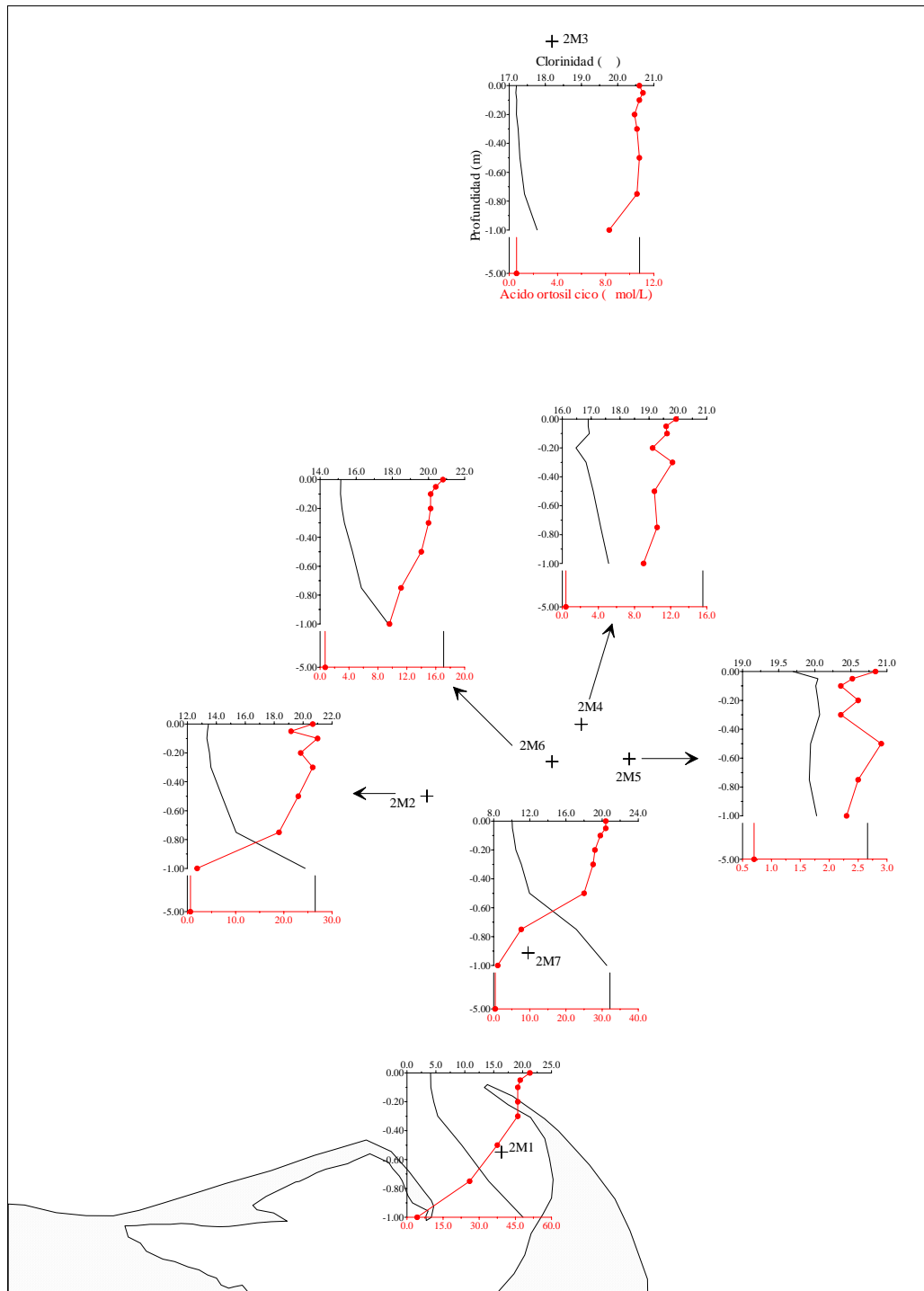


Figura 4.2.44. Perfiles verticales de ácido ortosilícico. Muestreo 2.

En la figura 4.2.45 se aprecia el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina en cada una de las estaciones. En general el ácido ortosilícico se comporta de manera bastante conservativa, excepto en las dos estaciones de mayor influencia continental donde se aprecian ligeras ganancias que podrían

deberse a la redisolución de la materia suspendida y/o a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas.

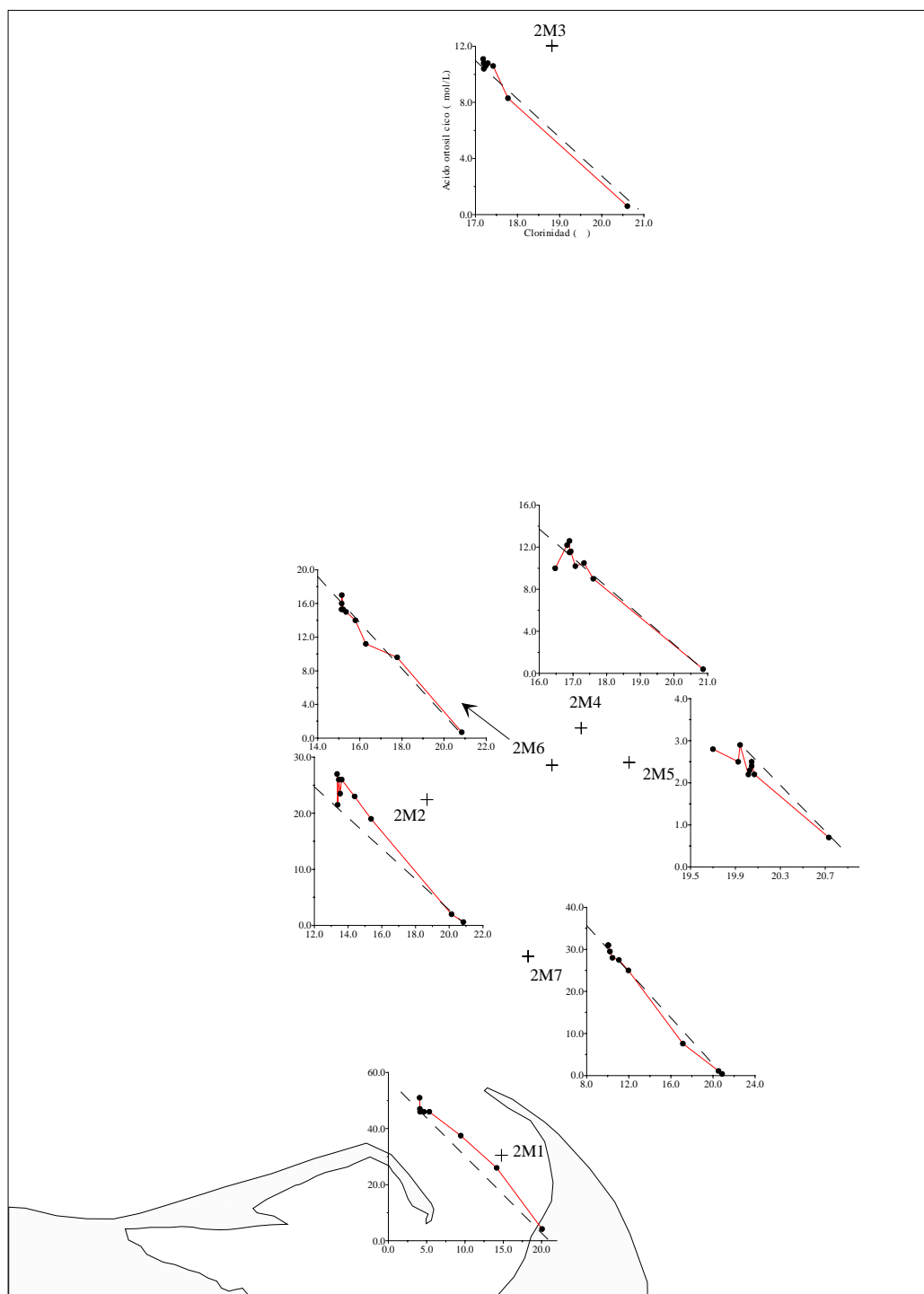


Figura 4.2.45. Comportamiento del ác. ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

El comportamiento global en la pluma estuarina se muestra en la figura 4.2.46, donde se observa que este nutriente posee un comportamiento bastante conservativo, si acaso con muy ligeras ganancias debidas a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas y del material mineral suspendido.

Observamos que, al contrario de lo que ocurría en el muestreo anterior, el ácido ortosilícico no llega a agotarse en la columna de agua, lo que apoya la hipótesis de que no existe una floración significativamente importante de diatomeas.

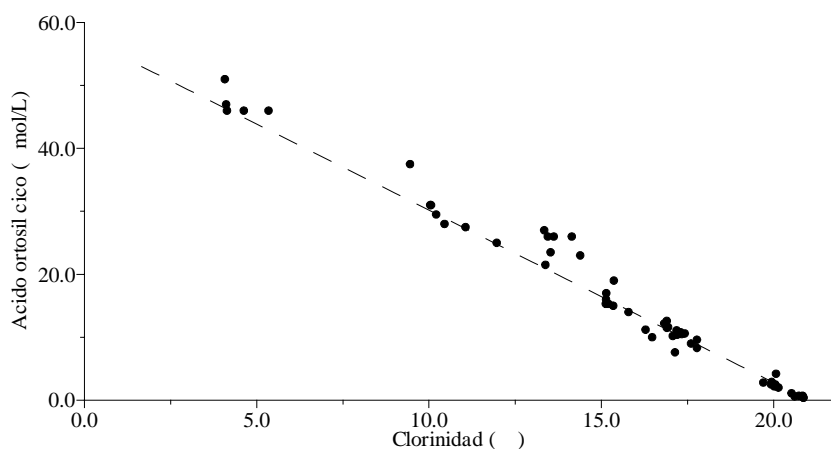


Figura 4.2.46. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.11.- Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* posee un rango de variación desde un valor máximo de 19.20 µg/L a la profundidad de 0.00 m en la estación 2M7 hasta un mínimo inferior a 0.20 µg/L a 5.0 m en 2M7, 2M2, 2M6, 2M4 y 2M3. En la tabla 4.2.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila *a* encontrados para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)
2M1	12.26	0.00	7.05	-0.75
2M7	19.20	0.00	<0.20	-5.0
2M2	3.81	-0.10	<0.20	-5.0
2M6	5.68	0.00	<0.20	-5.0
2M4	2.58	-0.50	<0.20	-5.0
2M3	2.20	-0.75	<0.20	-5.0
2M5	0.82	-0.50	0.29	-5.0

Tabla 4.2.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Los resultados encontrados en este muestreo dejan de nuevo patente las mayores concentraciones de clorofila *a* en las aguas fluviales del río que en las salinas del mar. Los niveles más altos se localizan en las estaciones de mayor influencia fluvial, 2M1 y 2M7, a nivel superficial y los más bajos a mayor

profundidad. Como se observa en la figura 4.2.47 donde se representa la distribución superficial, la disminución de los niveles de nutrientes y el aumento de la clorinidad al alejarnos de la boca del río provocan que los niveles de clorofila sean menores en las estaciones más alejadas de la desembocadura (2M4, 2M3 y 2M5) que en las más cercanas (2M1 y 2M7).

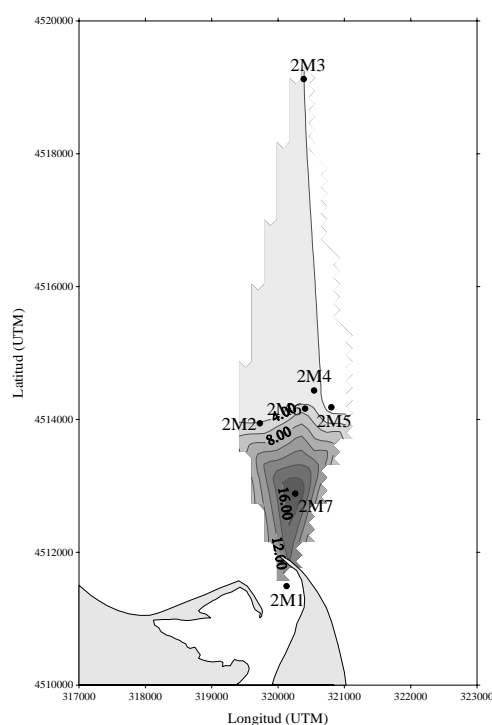


Figura 4.2.47. Distribución superficial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$). Muestreo 2.

El mayor valor encontrado en 2M7 respecto a 2M1 genera esta distribución algo particular, lo que puede apreciarse también en la figura 4.2.48, donde se muestra la distribución vertical hasta 1.00 m de profundidad, al igual que la esperada disminución al aumentar la profundidad y la clorinidad.

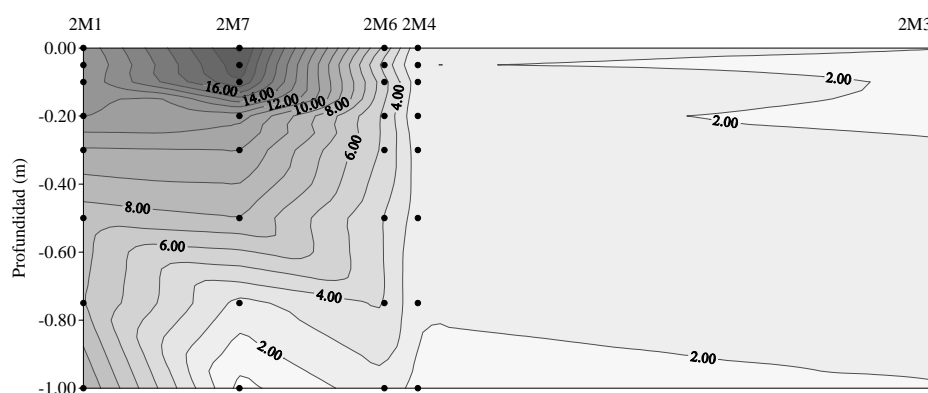


Figura 4.2.48. Distribución espacial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 2M1-2M3.

En la figura 4.2.49 se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones.

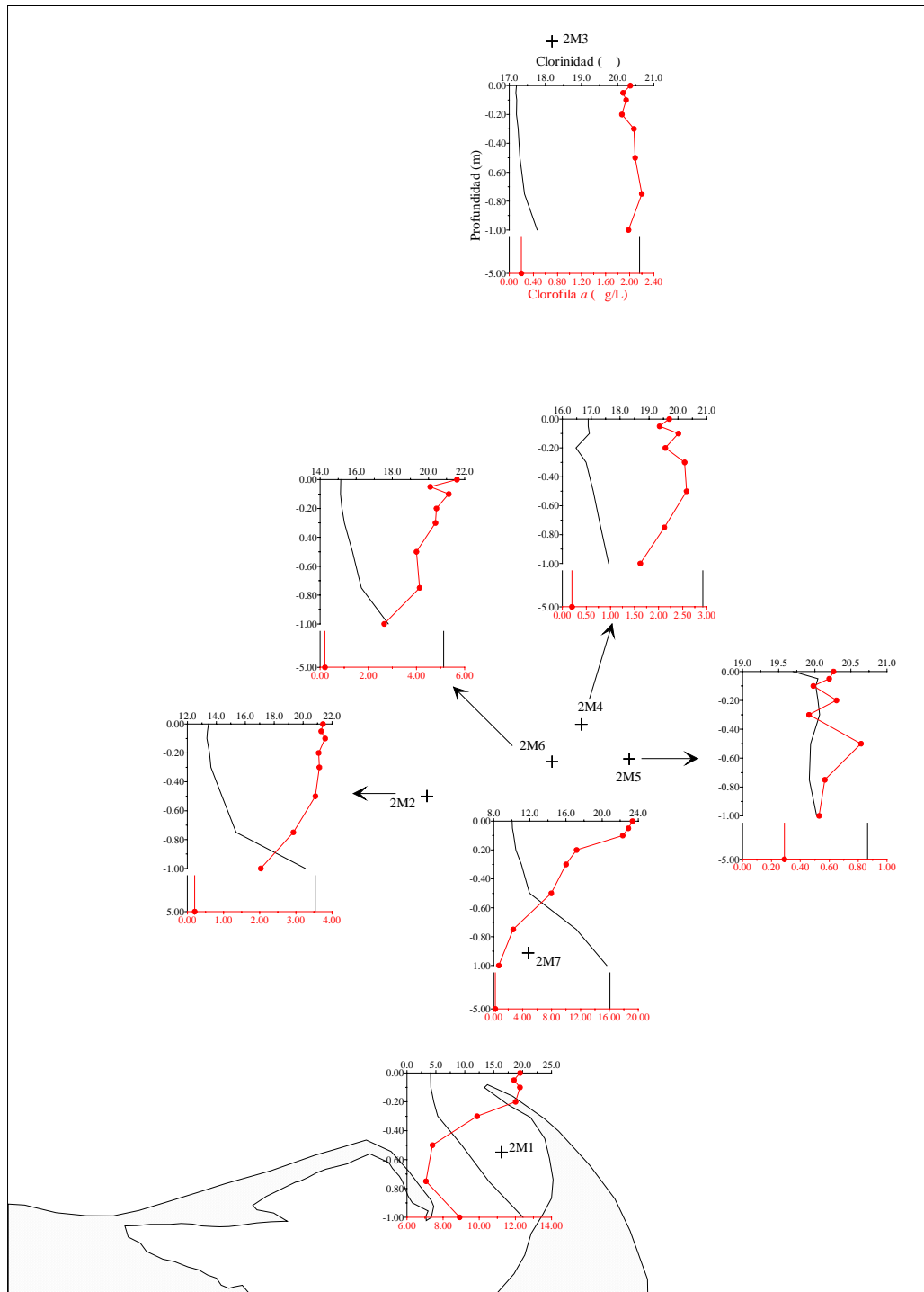


Figura 4.2.49. Perfiles verticales de clorofila *a*. Muestreo 2.

Solamente en dos estaciones (2M7 y 2M2) se puede decir que la concentración de clorofila *a* disminuye gradualmente con la profundidad, pues en el resto se producen desviaciones de diferente magnitud. En 2M1, 2M6 y 2M4 se producen diversas variaciones en la capa de agua más superficial (0.00-0.20 m), encontrando un pico adicional en 2M1 a 1.00 m. En 2M3 la concentración se mantiene aproximadamente constante en el primer metro de la columna de agua,

mientras que en 2M5 observamos un perfil en zigzag que se debe probablemente en gran parte a los bajos niveles encontrados en esta estación, que hace parecer mayores las variaciones a pesar de su pequeño rango. A pesar de que en la zona superficial de 2M7 hay mayor salinidad y por tanto menores aportes de nutrientes que en 2M1, el contenido en clorofila es claramente más elevado que en ésta, lo que denota condiciones salinas menos estresantes que permiten el crecimiento del fitoplancton.

En la figura 4.2.50 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones. En todas las estaciones las concentraciones de clorofila *a* disminuyen al aumentar la clorinidad, pero con algunas salvedades:

- En las estaciones de menor influencia fluvial (2M4, 2M3 y 2M5) encontramos valores menores de lo esperado por la simple mezcla física entre dos capas de agua de diferente concentración.

- En cambio en 2M7 y 2M6 las concentraciones de clorofila son mayores, sobre todo en las capas de menor clorinidad.

- En la estación 2M2 se encuentran menores concentraciones de lo esperado en la capa de agua más dulce y mayores en la más salina.

- Algo similar se produce en 2M1, donde en la zona de menor clorinidad de la columna de agua se encuentra una disminución de las concentraciones siguiendo la linealidad pero en la zona más salina se produce un aumento inesperado.

Las disminuciones en la concentración de clorofila *a* se deben a una merma en el número de células fitoplanctónicas, por el denominado estrés salino, por el consumo por parte del zooplancton, por una disminución de la fotosíntesis, etc. En cambio, los diversos aumentos encontrados cabe achacarlos a un mayor desarrollo de la comunidad fitoplanctónica.

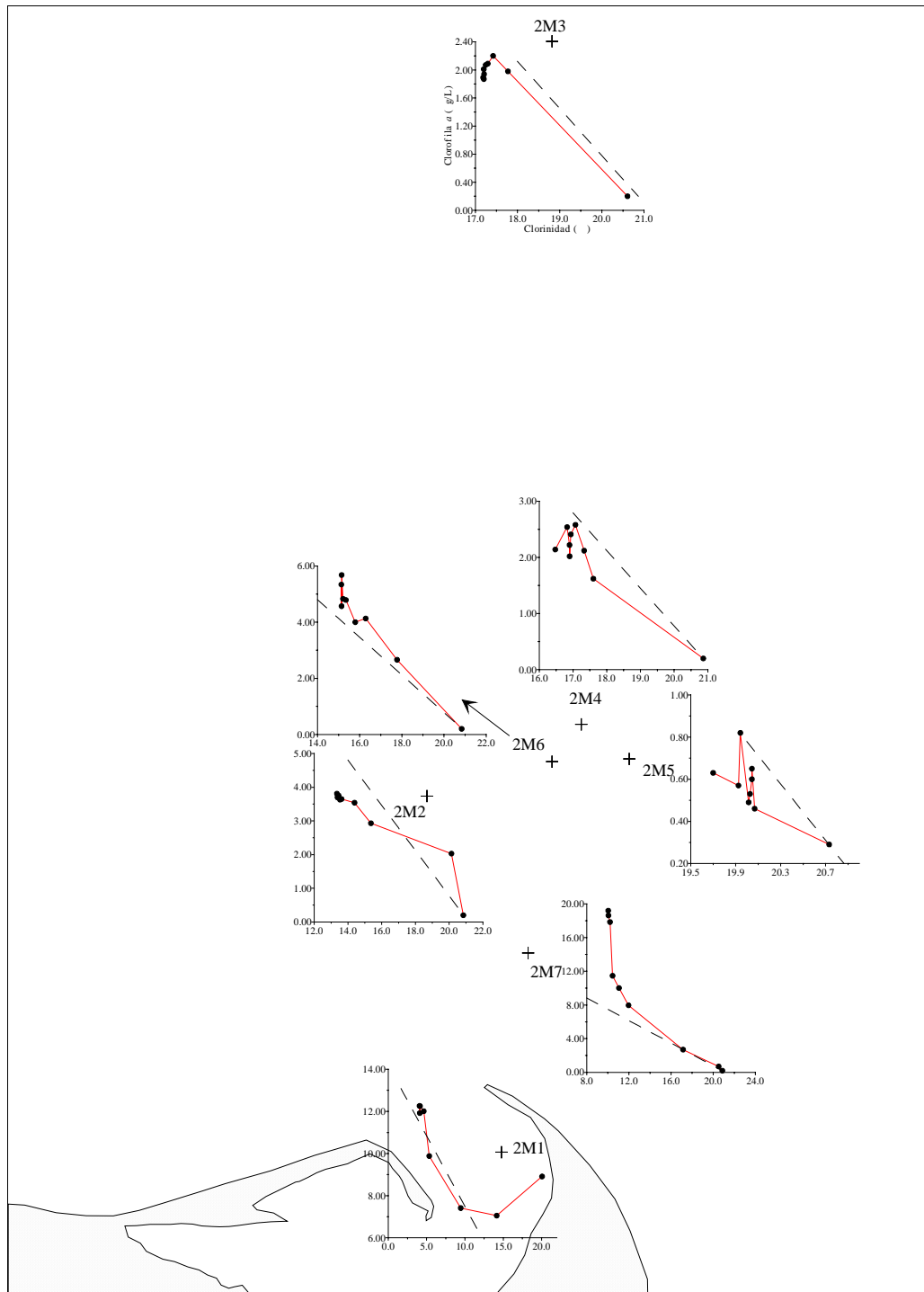


Figura 4.2.50. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

En todo el cuerpo de la pluma la concentración de clorofila *a* disminuye al aumentar la clorinidad, como se observa en la figura 4.2.51, exceptuando unas pocas muestras donde la concentración es mayor de lo que sería de esperar por la simple disminución del número de células fitoplanctónicas de origen fluvial al aumentar la clorinidad, y que son las existentes en la estación 2M7 y en la parte más salina de 2M1 y 2M2.

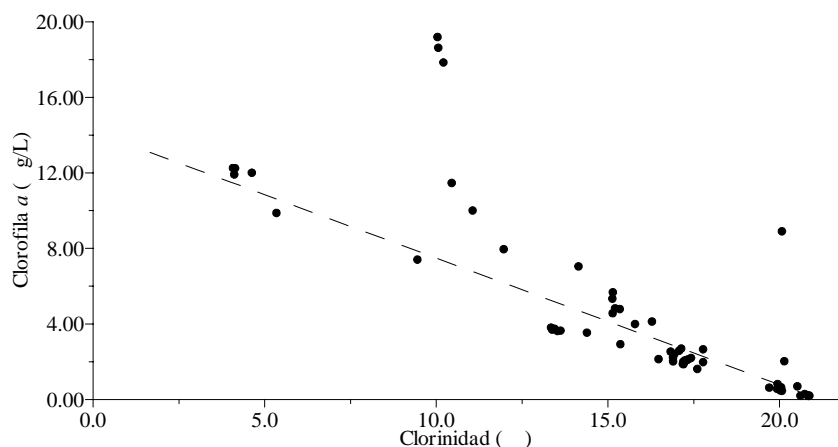


Figura 4.2.51. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 2.

4.2.12.- Relaciones entre nutrientes

a) NID/PSR

La relación NID/PSR varía desde un máximo superior a 836.7 localizado en la estación 2M3 a 0.05 m de profundidad, hasta un mínimo de 2.2 en 2M5 a 0.75 m. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.2.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
2M1	163.9	-0.20	11.6	-1.00
2M7	>323.3	-1.00	>26.7	-5.0
2M2	106.1	-0.50	>33.3	-5.0
2M6	>496.7	-1.00	>56.7	-5.0
2M4	>533.3	-0.75	>23.3	-5.0
2M3	>836.7	-0.05	>30.0	-5.0
2M5	>96.7	-0.20	2.2	-0.75

Tabla 4.2.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Al igual que vimos en el muestreo anterior, los mínimos se localizan a las mayores profundidades, excepto en la estación 2M5, mientras que los máximos en cualquier zona de la columna de agua, desde la superficie (2M3) hasta mayor profundidad (2M7 y 2M6).

En la figura 4.2.52 se representa las variaciones de esta relación con la profundidad para cada una de las estaciones.

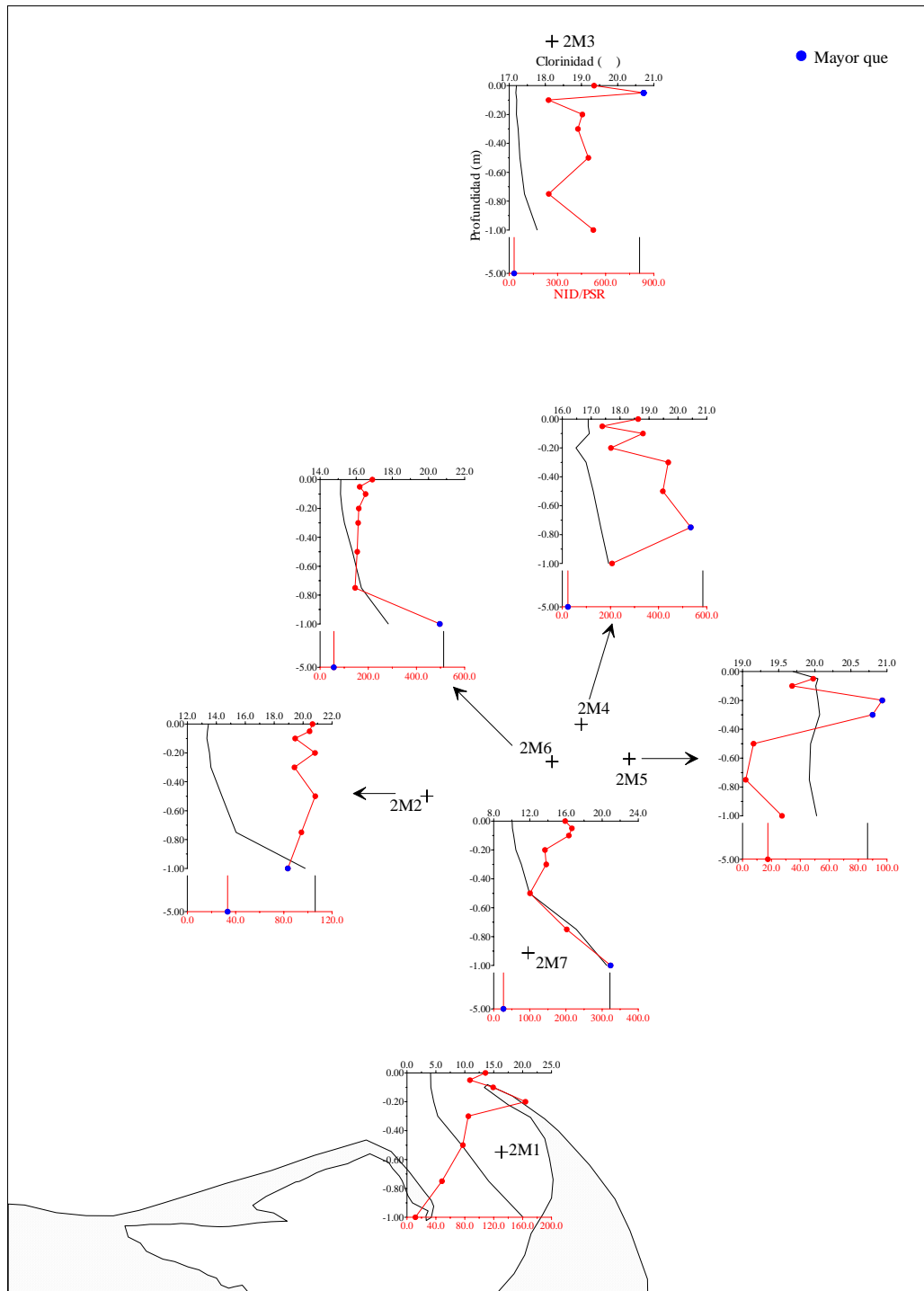


Figura 4.2.52. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 2.

Se observa que al igual que en el muestreo anterior, en ninguna de las estaciones se encuentra una clara pauta espacial. En todas ellas se encuentran picos a diferentes profundidades, que dependen de los valores existentes de NID y PSR. De hecho, si nos fijamos en los perfiles encontrados en el NID (figura

4.2.25) y en el PSR (figura 4.2.29), comprobamos que los perfiles de esta relación son en todas las estaciones una “imagen especular” del PSR. Esto se debe a la mayor influencia de los valores de PSR sobre este cociente. Del mismo modo que ocurría en el muestreo anterior, los valores mínimos del PSR dan lugar a unos picos máximos en el NID/PSR, como ocurre por ejemplo en la estación 2M1 a 0.20 m de profundidad. Pero esto no se produce también a las mayores profundidades (5.0 m) debido a que el NID también posee valores pequeños, que hacen que la relación NID/PSR a este nivel sea menor que la encontrada a 1.00 m. Como se explicó en el muestreo anterior, las concentraciones de PSR tienen una mayor afección sobre esta relación que el NID, debido a que las proporciones de partida están ya bastante desequilibradas (mucho menor cantidad de PSR que de NID) y además los organismos absorben en una relación 16/1.

En la figura 4.2.53 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad, donde hemos de recordar que algunos de estos valores son mayores que el valor especificado debido a que el PSR es inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$.

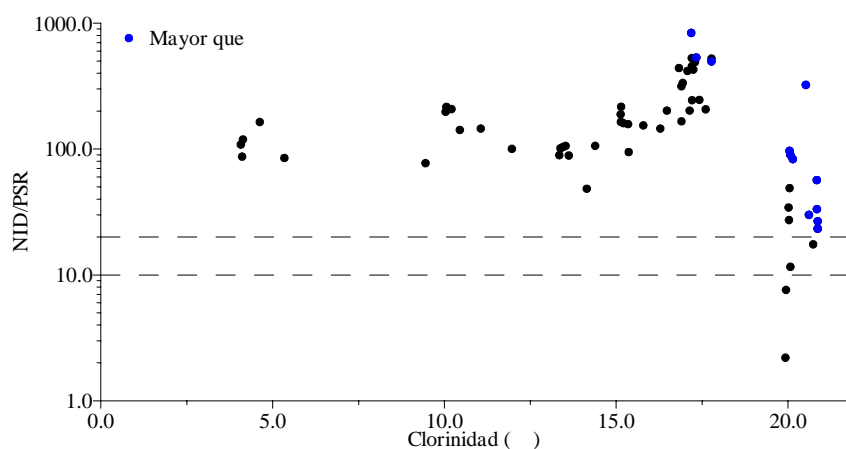


Figura 4.2.53. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 2.

Los valores de NID/PSR se mantienen aproximadamente constantes hasta una clorinidad de 15‰, aumentando posteriormente hasta 20‰ lo que nos indica que ésta es una zona de mayor crecimiento de las comunidades planctónicas. A partir de 20‰ esta relación parece comenzar a disminuir, pero no hay que olvidar que es a partir de esta clorinidad cuando el PSR está cercano al agotamiento y todos los valores de NID/PSR son mayores que los especificados, con lo que esta relación puede también estar aumentando a partir de 20‰. En todo el rango de clorinidad solamente encontramos unos pocos valores menores de 20, que se

corresponden con la muestra de agua a 1.00 m de profundidad de la estación 2M1 y con las de 2M5 a 0.50, 0.75 y 5.0 m.

Por lo tanto, y dado que la mayoría de valores son superiores a 20 debido a las bajas concentraciones de PSR encontradas, podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante.

b) NID/Ácido ortosilícico

La relación NID/ácido ortosilícico posee un rango de variación desde un máximo de 8.8 localizado en la estación 2M7 a 1.00 m de profundidad, hasta un mínimo de 0.9 en 2M1 a 1.00 m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.2.13.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
2M1	2.7	-0.10	0.9	-1.00
2M7	8.8	-1.00	2.0	-5.0
2M2	2.4	-0.05	1.3	-1.00
2M6	2.4	-0.05, -5.0	1.6	-1.00
2M4	2.2	-0.05	1.4	-0.30, -1.00
2M3	2.4	0.00	1.5	-5.0
2M5	1.8	0.00, -0.05, -1.00	1.0	-5.0

Tabla 4.2.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 2.

Al contrario de lo que ocurre en el muestreo realizado en abril, los valores máximos se suelen localizar a nivel superficial (excepto en la estación 2M7) y los menores a las mayores profundidades. Realmente la relación NID/ácido ortosilícico posee un rango de variación bastante estrecho, entre 3 y 1, si exceptuamos el máximo encontrado en 2M7.

En la figura 4.2.54 se ha representado la variación de esta relación con la profundidad.

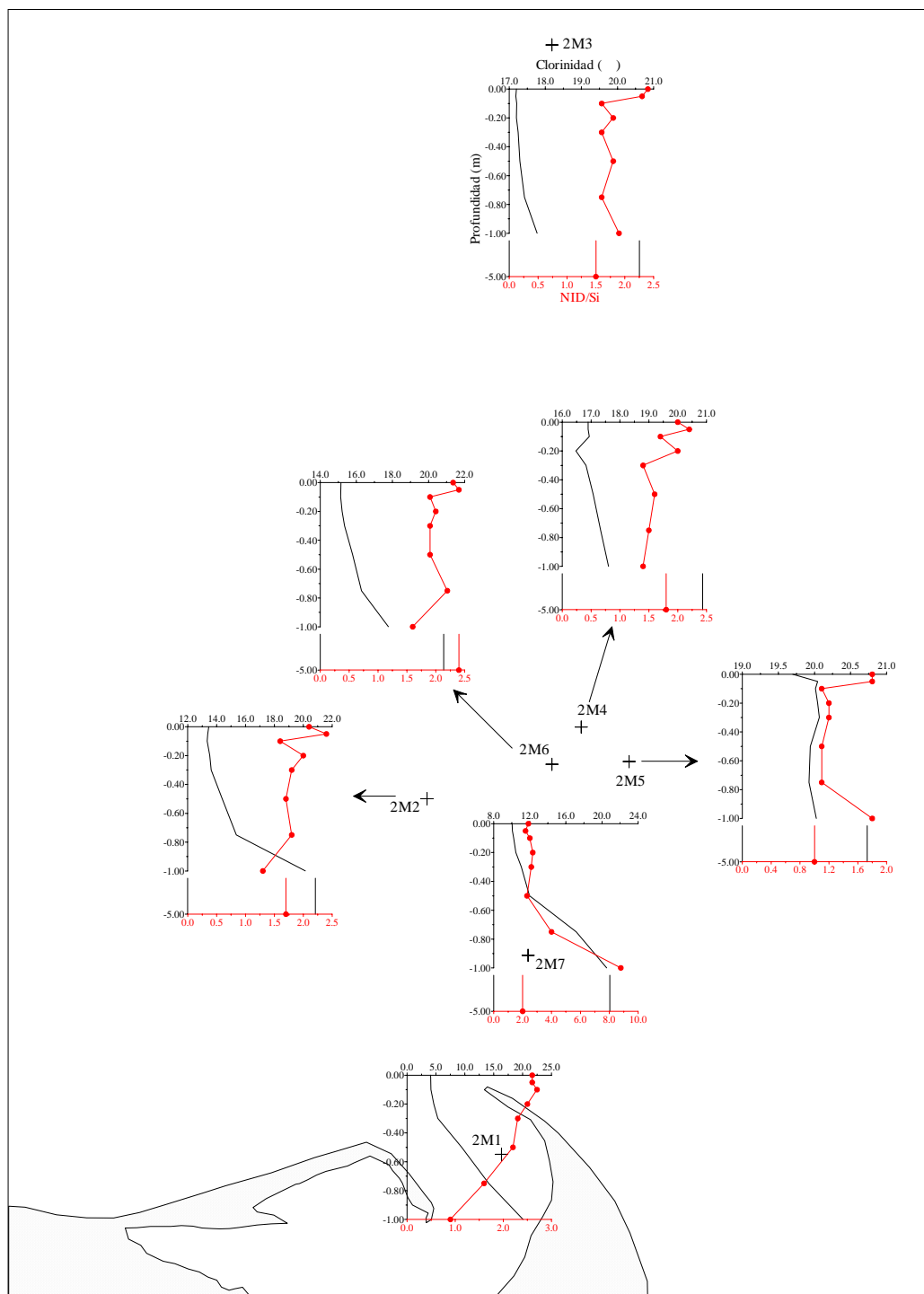


Figura 4.2.54. Perfiles verticales de NID/ácido ortosilícico. Muestreo 2.

Si recordamos los perfiles encontrados para el NID (figura 4.2.25) y para el ácido ortosilícico (figura 4.2.44), vemos que los de esta relación son mucho más similares a los primeros, debido a la casi constancia del ácido ortosilícico en la capa de agua hasta 1.00 m de profundidad. En cambio, a profundidades de 5.0 m y debido a la mayor disminución de la concentración de ácido ortosilícico, los valores de esta relación son en algunas estaciones (2M2, 2M6 y 2M4) mayores

que los correspondientes a 1.00 m. Los altos valores encontrados en la estación 2M7 entre 0.75 y 1.00 m pueden ser achacados a que, si nos fijamos en las figuras 4.2.26 y 4.2.45 que representan el comportamiento de ambos nutrientes en la mezcla estuarina, son las únicas muestras donde el NID presenta una cierta ganancia y el ácido ortosilícico una pequeña pérdida, provocando un aumento en los valores del cociente NID/ácido ortosilícico.

En la figura 4.2.55 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad.

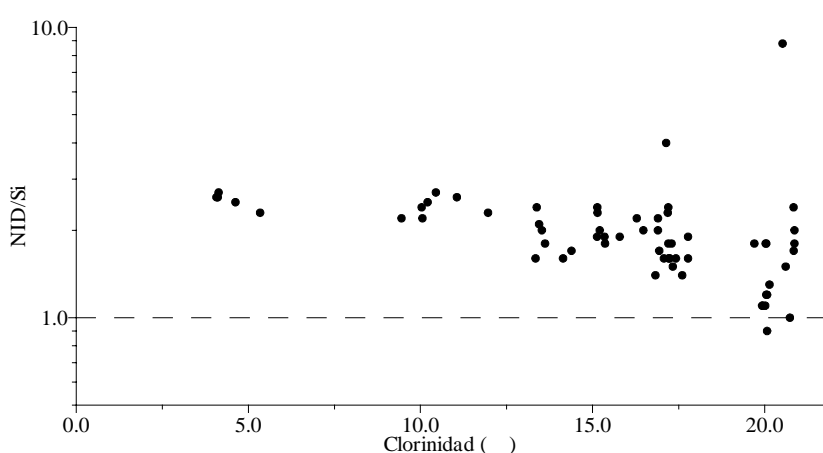


Figura 4.2.55. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 2.

Se observa que en todo el rango de clorinidades los valores de esta relación se mantienen aproximadamente constantes en torno a 2-3, si acaso disminuyendo un poco a partir de clorinidades cercanas a 15‰. Pero aún con todo, todos los valores son mayores de 1, lo que nos lleva a concluir que en estas condiciones será realmente muy difícil que el nitrógeno en forma de NID pueda llegar a limitar el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas.

4.2.13.- Tratamiento estadístico

Se realiza un análisis factorial con las 9 variables iniciales, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*. La matriz de correlación anti-imagen mostrada en la tabla 4.2.14 nos indica que todas las variables son idóneas para el tratamiento estadístico.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.878, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Meritorio”.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	8.169E-03	2.802E-03	-3.688E-03	6.417E-03	-8.870E-03	6.240E-03	-4.694E-04	7.768E-03	7.417E-03
	Amonio	2.802E-03	0.506	1.142E-02	8.675E-03	2.103E-03	-3.694E-03	4.946E-03	-2.426E-02	0.135
	Nitrito	-3.688E-03	1.142E-02	5.675E-02	-1.523E-02	3.443E-03	-2.470E-02	1.259E-02	-9.449E-04	-1.241E-02
	Nitrato	6.417E-03	8.675E-03	-1.523E-02	1.213E-02	-9.130E-03	6.617E-03	5.427E-04	6.170E-04	-3.260E-04
	PSR	-8.870E-03	2.103E-03	3.443E-03	-9.130E-03	9.339E-02	-3.644E-02	-3.273E-02	-6.636E-03	2.770E-02
	PDT	6.240E-03	-3.694E-03	-2.470E-02	6.617E-03	-3.644E-02	7.778E-02	-3.375E-02	7.584E-03	2.510E-02
	PT	-4.694E-04	4.946E-03	1.259E-02	5.427E-04	-3.273E-02	-3.375E-02	6.225E-02	-6.291E-03	-3.748E-02
	Ác. ortosil	7.768E-03	-2.426E-02	-9.449E-04	6.170E-04	-6.636E-03	7.584E-03	-6.291E-03	1.498E-02	3.317E-03
	Clorofila	7.417E-03	0.135	-1.241E-02	-3.260E-04	2.770E-02	2.510E-02	-3.748E-02	3.317E-03	0.218
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.834</u>	4.359E-02	-0.171	0.645	-0.321	0.248	-2.082E-02	0.702	0.176
	Amonio	4.359E-02	<u>0.848</u>	6.741E-02	0.111	9.675E-03	-1.862E-02	2.787E-02	-0.279	0.407
	Nitrito	-0.171	6.741E-02	<u>0.905</u>	-0.581	4.729E-02	-0.372	0.212	-3.241E-02	-0.112
	Nitrato	0.645	0.111	-0.581	<u>0.866</u>	-0.271	0.215	1.975E-02	4.578E-02	-6.338E-03
	PSR	-0.321	9.675E-03	4.729E-02	-0.271	<u>0.882</u>	-0.428	-0.429	-0.177	0.194
	PDT	0.248	-1.862E-02	-0.372	0.215	-0.428	<u>0.868</u>	-0.485	0.222	0.193
	PT	-2.082E-02	2.787E-02	0.212	1.975E-02	-0.429	-0.485	<u>0.897</u>	-0.206	-0.322
	Ác. ortosil	0.702	-0.279	-3.241E-02	4.578E-02	-0.177	0.222	-0.206	<u>0.891</u>	5.803E-02
	Clorofila	0.176	0.407	-0.112	-6.338E-03	0.194	0.193	-0.322	5.803E-02	<u>0.907</u>

Tabla 4.2.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 2.

El análisis nos reduce estas 9 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 78.999% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.2.15. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.110	78.999	78.999
2	0.879	9.772	88.771
3	0.624	6.938	95.708
4	0.180	1.996	97.704
5	8.333E-02	0.926	98.630
6	6.745E-02	0.749	99.380
7	3.755E-02	0.417	99.797
8	1.323E-02	0.147	99.944
9	5.051E-03	5.613E-02	100.000

Tabla 4.2.15. Varianza total explicada.

La matriz del único componente extraído se muestra en la tabla 4.2.16.

	Componente 1
Clorinidad	-0.970
Amonio	0.511
Nitrito	0.951
Nitrato	0.972
PSR	0.877
PDT	0.905
PT	0.940
Ácido ortosili.	0.973
Clorofila	0.801

Tabla 4.2.16. Matriz de componentes para el muestreo 2.

A la vista de esto se puede decir que de nuevo los aportes continentales juegan un papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados están íntimamente relacionados con la clorinidad. Como

era de esperar, los nutrientes y la clorofila poseen una pauta contraria a la de la clorinidad, teniendo ésta un signo contrario a las restantes. Evidentemente el amonio es el nutriente que menor peso tiene, debido a su comportamiento no conservativo y a la dispersión en sus concentraciones.

4.3.- Muestreo 3 (11 julio 1999)

4.3.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

El 11 de julio de 1999 se fijaron 7 estaciones, recogiendo en total 63 muestras de agua. Las condiciones meteorológicas fueron constantes durante las horas de muestreo (07:30-14:20 GMT, aproximadamente). La temperatura mínima osciló entre 19°C-23°C y la máxima entre 27°C-31°C, según la Generalitat de Catalunya. En la figura 4.3.1 se representan los datos meteorológicos de las estaciones de L'Ampolla y de Sant Carles de la Ràpita durante este muestreo.

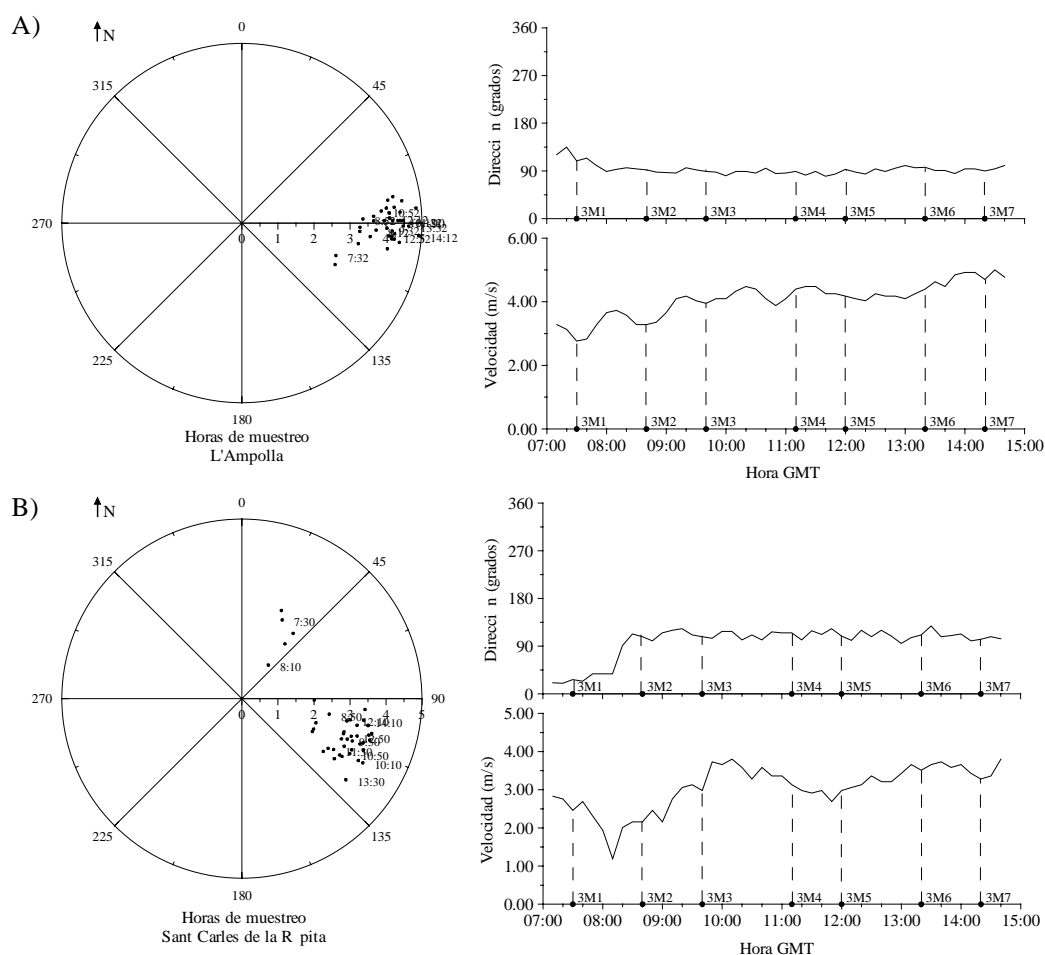


Figura 4.3.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 3.
A) L'Ampolla, B) Sant Carles de la Ràpita.

La velocidad del viento osciló entre 2.76 y 4.92 m/s con un promedio de 4.08 m/s para la estación de L'Ampolla, y entre 1.19 y 3.80 m/s con un promedio de 3.04 m/s para la estación de Sant Carles de la Ràpita. La dirección media del

viento en la estación meteorológica de L'Ampolla fue de 91.2 grados, oscilando entre 80.0 y 114.0 grados. Para la estación de Sant Carles de la Ràpita la dirección media fue de 101.4 grados, con un rango de variación entre 24.0 y 128.0 grados. Por lo tanto, durante las horas de muestreo, el viento en general sopló de componente este desde muy débil a débil.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar por las mareas astronómicas y el oleaje, medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla, que puede verse en la figura 4.3.2, posee el mismo rango de variación que en los muestreos anteriores.

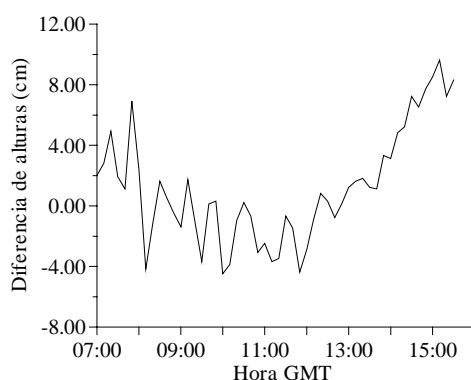


Figura 4.3.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 3.

La diferencia de altura máxima encontrada fue de 14.1 cm, por lo que al igual que en los muestreos anteriores consideraremos que las corrientes mareales y el oleaje no tienen gran importancia en este muestreo.

b.2) Caudales del río Ebro

Los datos que poseemos son los que provienen de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en Tortosa. En la figura 4.3.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo. Igual que ocurría en los muestreos anteriores, los caudales máximos horarios se localizan en las horas de mayor gasto hidroeléctrico, a primeras horas de la mañana y de la noche. De todas maneras, como ya comentamos anteriormente, los caudales medidos en Tortosa no nos son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura.

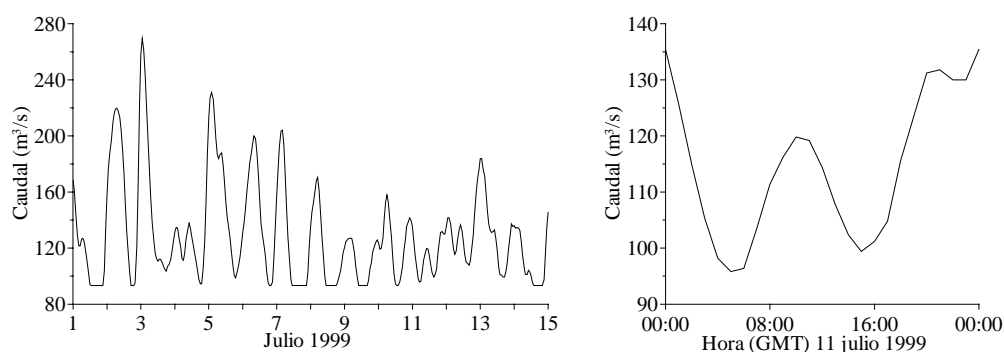


Figura 4.3.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 3.

b.3) Corrientes

En la figura 4.3.4 se ha representado el perfil de velocidades obtenido por el correntímetro ADP para la estación 3M1 que es la más cercana a la boca del río.

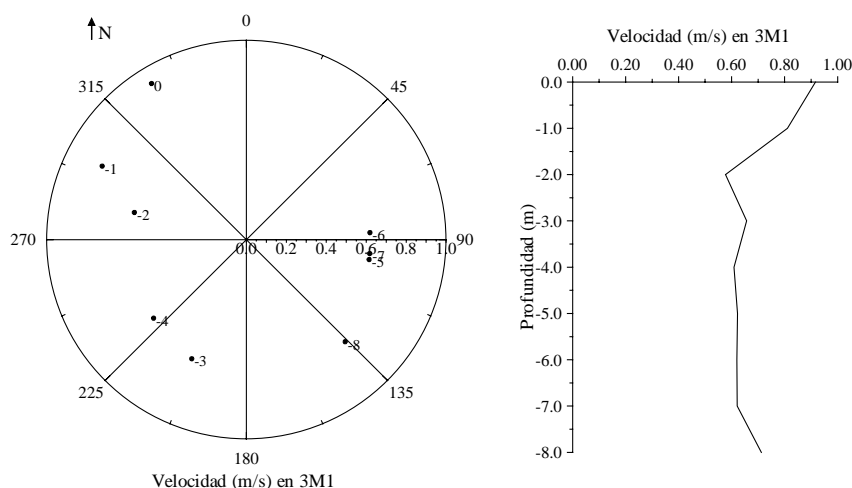


Figura 4.3.4. Dirección (grados) y velocidad (m/s) de la corriente proporcionado por el ADP, en la estación 3M1.

En esta figura podemos observar que la velocidad va disminuyendo conforme aumenta la profundidad, pero en menor medida que en las estaciones 1M8 y 2M1 de los muestreos anteriores. De hecho, en este muestreo, no podemos sacar ninguna conclusión clara de los datos proporcionados por el ADP, pues ni siquiera la dirección de la corriente sigue una pauta definida. Esto es debido a que esta estación no se encuentra tan cercana a la desembocadura como ocurriría con las estaciones 1M8 y 2M1 y por lo tanto toman más fuerza las corrientes propias del mar que la fuerza provocada por la salida del agua desde el río Ebro. Lo mismo ocurre con el resto de estaciones que no se han representado.

4.3.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

Se poseen los datos de la toma de muestras previa de aguas superficiales, que pueden verse en la tabla A.6 del Anexo, a partir de los cuales se situaron las 7 estaciones muestreadas. Así la estación 3M1 se ubicó cerca de la boca del río, 3M2, 3M4, 3M6 y 3M7 dentro de la pluma estuarina y 3M3 y 3M5 fuera de ella. Los datos procedentes del CTD Seabird están disponibles para todas las estaciones de muestreo (Tabla A.7 del Anexo), pero por la misma razón que en el muestreo anterior, los de conductividad no se van a utilizar. Los de temperatura se representan en la figura 4.3.5, junto con los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 7 estaciones mediante el SWAS.

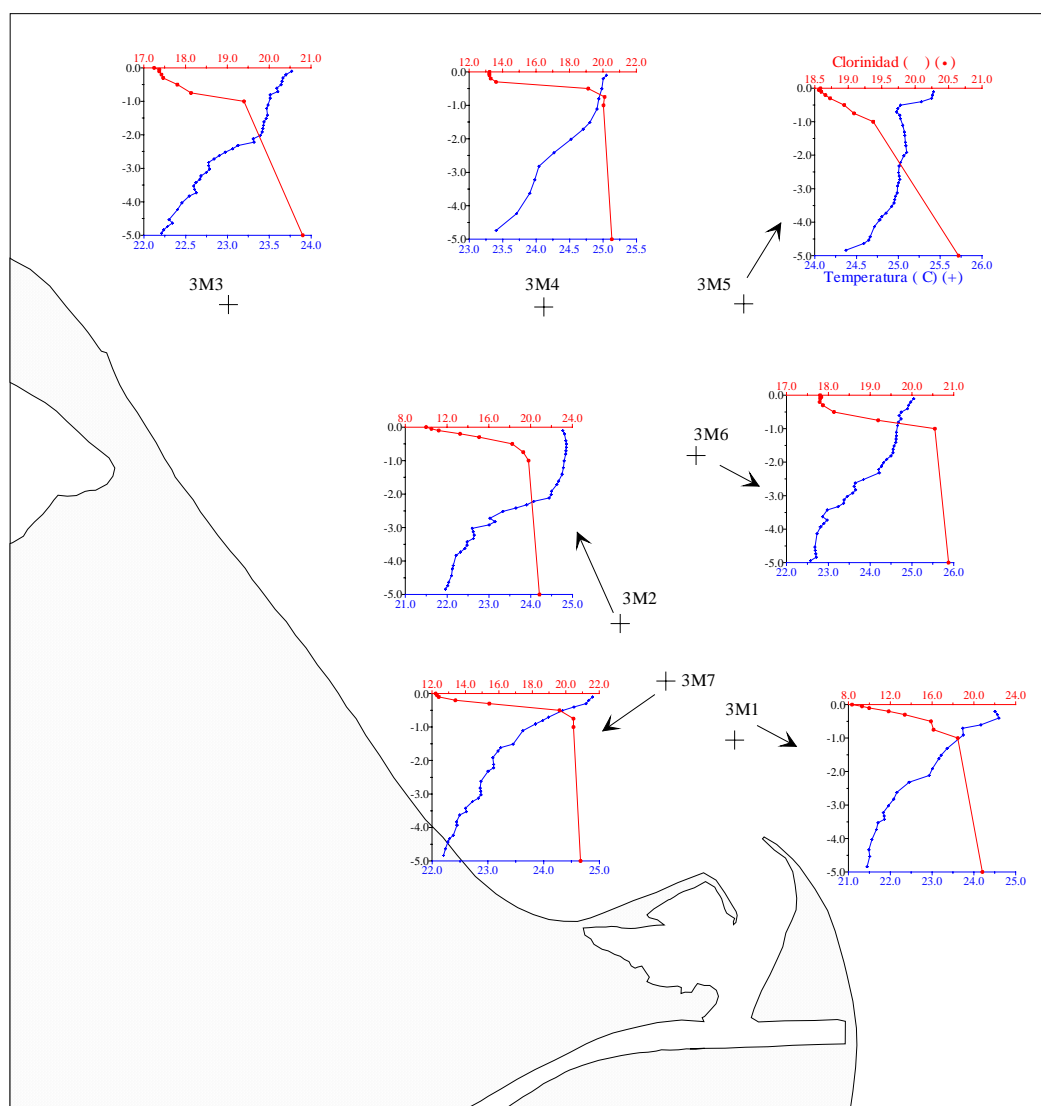


Figura 4.3.5. Perfiles de temperatura (°C) (+) del CTD Seabird y clorinidad (‰) (•) de las muestras de agua para el muestreo 3.

a) Temperatura

Las temperaturas superficiales varían desde 25.4°C de la estación 3M4, hasta 23.8°C de 3M3, mientras que las profundas lo hacen entre 24.4°C en 3M5 hasta 21.4°C en 3M1. Las temperaturas superficiales de las diversas estaciones no siguen una clara pauta espacial, lo que cabe achacar a diferencias en la radiación solar, pues el muestreo comenzó en 3M1 a las 7:30 h y terminó en 3M7 a las 14:20 h, y a la influencia de la temperatura del río. En todas las estaciones la temperatura disminuye gradualmente al aumentar la profundidad como se observa en la figura 4.3.5.

Los mayores rangos de variación vertical se producen en las estaciones más cercanas a la boca del río, siendo en 3M1 de 3.1°C, en 3M2 de 2.8°C, en 3M7 de 2.7°C y en 3M6 de 2.4°C. Sin embargo en las más alejadas las variaciones son más reducidas, siendo en 3M3 y 3M4 de 1.6°C y en 3M5 de 1.0°C. Existe por tanto una cierta estratificación térmica aunque los cambios son bastante graduales y no se da un gradiente brusco equivalente a una termoclina. Tal parece que la reducida mezcla que denotan los datos de salinidad/clorinidad (ver más adelante) se refleja también en la temperatura. El calentamiento debido a la insolación produce estas variaciones horizontales de temperatura con los valores más altos en superficie como cabía esperar, ya que es allí donde está la fuente de calor. Las diferencias en los valores de la temperatura a 5.0 m de profundidad (menores en 3M1 y mayores en 3M5) son difíciles de explicar ya que aunque parece haber una relación inversa clara entre el nivel de influencia fluvial y la temperatura a 5.0 m ésta no tiene por qué ser causal. Entre las capas superficiales y profundas existe una diferencia máxima de 3.1°C en la estación 3M1 y una mínima de 1.0°C en 3M5, estaciones que son las de mayor y menor influencia continental.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

En la figura 4.3.6 se ha representado los datos de conductividad que se obtuvieron en el muestreo previo. El efecto del viento proveniente del este queda patente en esta distribución, trasladando la pluma estuarina hacia el noroeste.

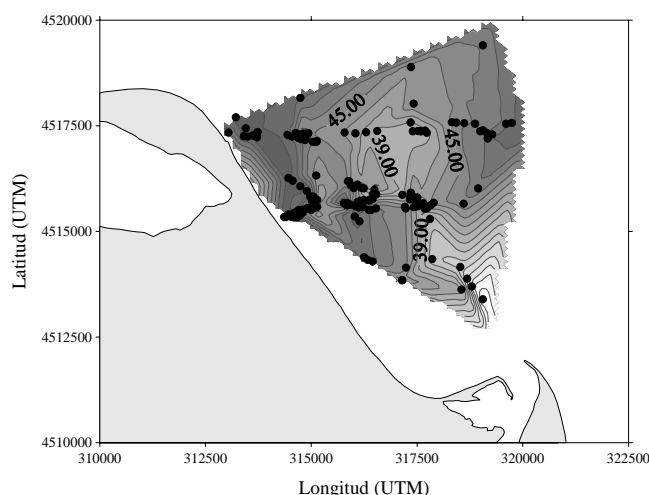


Figura 4.3.6. Distribución superficial de conductividad (mS/cm) en la toma previa de muestras. Muestreo 3.

En la figura 4.3.5, donde se representan los perfiles de cada una de las estaciones, observamos que, igual que en los muestreos anteriores, los datos provenientes de la toma de muestras mediante el SWAS nos aportan una gran precisión en la capa más superficial (Tabla A.8 del Anexo).

En la tabla 4.3.1 se han especificado los valores máximos y mínimos de clorinidad (‰) en cada estación de las muestras de agua recogidas a distintas profundidades.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
3M1	20.808	-1.00	8.334	0.00
3M2	20.844	-5.0	9.991	0.00
3M7	20.881	-5.0	12.217	0.00
3M4	20.531	-5.0	13.215	0.00
3M3	20.802	-5.0	17.249	0.00
3M6	20.874	-5.0	17.789	-0.20
3M5	20.648	-5.0	18.559	-0.05

Tabla 4.3.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 3.

Como ya hemos indicado en los muestreos anteriores, debido a la diferencia de clorinidad y densidad entre el agua dulce/salobre y la marina, los valores máximos de clorinidad se encuentran a mayor profundidad en todas las estaciones. En la capa más superficial se localizan generalmente los mínimos aunque no siempre a 0.00 m de profundidad, pues por ejemplo en 3M6 se encuentra a 20 cm

y en 3M5 a 5 cm. Estos últimos valores podrían deberse tanto a una falta de precisión en la toma de muestras como a que el viento que procede del este introduce aguas más salinas por superficie. Los valores de clorinidad superficial van aumentando desde 3M1 (estación más cercana a la boca del río) hasta 3M5, lo que nos indica una menor influencia continental de esta última estación. El menor valor encontrado en 3M2 respecto a 3M7, aunque esta última se encuentre más cerca de la desembocadura, podría deberse tanto a la compleja circulación existente en la zona en donde los vientos del este podrían devolver aguas dulces al chocar contra la costa por ejemplo, como al cambio de las condiciones con el tiempo, ya que hemos de recordar que 3M2 se muestreó a las 8:45 h y 3M7 a las 14:20 h. Esto nos vuelve indicar lo que ya había sido observado en otros muestreos, que la cercanía a la boca del río no implica una mayor influencia continental, teniendo bastante importancia las condiciones hidrodinámicas de la zona de estudio.

En los perfiles obtenidos en cada una de las estaciones (Figura 4.3.5) se observa el esperado aumento de la clorinidad con la profundidad. Los cambios más drásticos se producen, como en los muestreos ya descritos, en el primer metro de la columna. A primera vista puede parecer que los perfiles obtenidos en 3M3 y 3M5 son algo diferentes al resto, pero hay que tener en cuenta que si se hubiera tomado una muestra adicional a, por ejemplo, 1.5 m de profundidad, podríamos haber obtenido perfiles semejantes a los que se dan en el resto de estaciones. En la figura 4.3.7 se ha representado el corte vertical del transecto formado por las estaciones 3M1, 3M2 y 3M3, donde se observa que la clorinidad aumenta al hacerlo la profundidad y al alejarnos de la desembocadura.

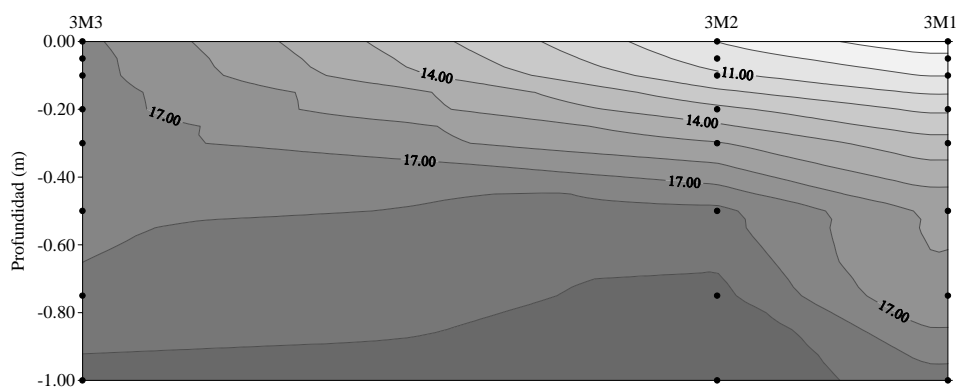


Figura 4.3.7. Perfil vertical de clorinidad (‰) del transecto 3M1-3M3 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

En la figura 4.3.8 se ha representado un corte horizontal de la clorinidad (‰) para la capa de agua superficial (0.00 m) para todas las estaciones de muestreo. Se comprueba, como ocurría en los anteriores muestreos, el esperado aumento de la clorinidad al alejarnos de la desembocadura del río Ebro. Es de resaltar, como ya se ha comentado anteriormente, el mayor valor de clorinidad en 3M7 que en 3M2, razón por la cual se observa esta distribución horizontal algo atípica. En esta figura queda también patente el efecto del viento del este sobre la morfología de la pluma estuarina, que la desplaza en dirección noroeste.

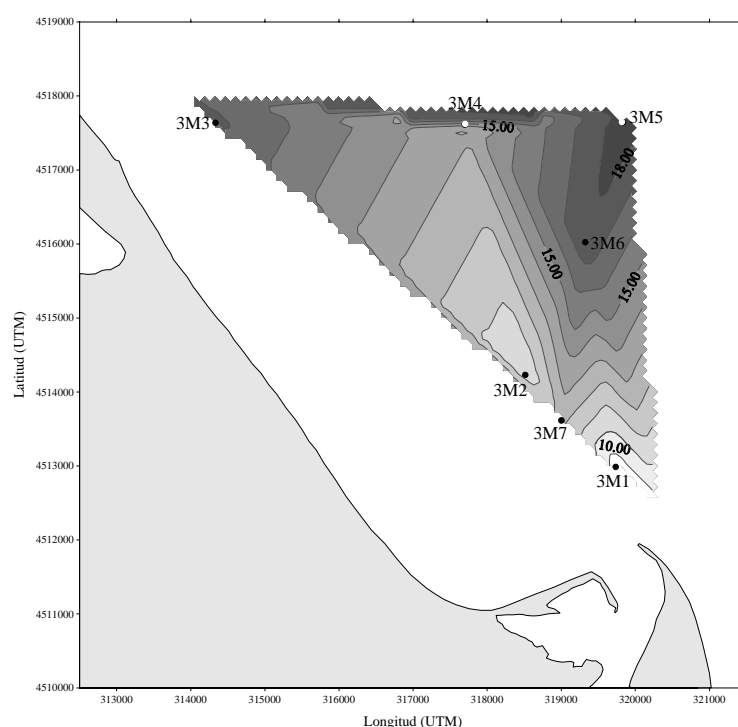


Figura 4.3.8. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a 0.00 m para las 7 estaciones del muestreo 3.

En la figura 4.3.9 se representa las distribuciones horizontales a todas las profundidades, donde las de 0.50, 0.75, 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes. En todas ellas se comprueba que la clorinidad va aumentando al alejarnos de la boca del río Ebro, disminuyendo la influencia continental. Se observa similares distribuciones en los primeros 20 cm de la columna de agua, con un desplazamiento hacia el noroeste debido al efecto del viento proveniente del este. A 30 cm de profundidad el menor valor de clorinidad encontrado en 3M4 debido a la mayor mezcla respecto a 3M3 y 3M5, genera una distribución algo complicada de explicar. Lo mismo parece ocurrir a 0.50, 0.75 y 1.0 m debido a los mayores valores de 3M7 y 3M4 al estar éstas más mezcladas que el resto de estaciones. Caso aparte merece la distribución encontrada a 5.0 m, donde se encuentra una

mayor clorinidad en las estaciones más cercanas a la desembocadura y menores en las más alejadas. Ello podría deberse al retorno de las aguas salinas desplazadas por la pluma por la capa profunda. Así, conforme aumenta la profundidad el efecto del viento va disminuyendo, llegando a no observarse desplazamiento de la pluma hacia el noroeste a una profundidad de 0.50m.

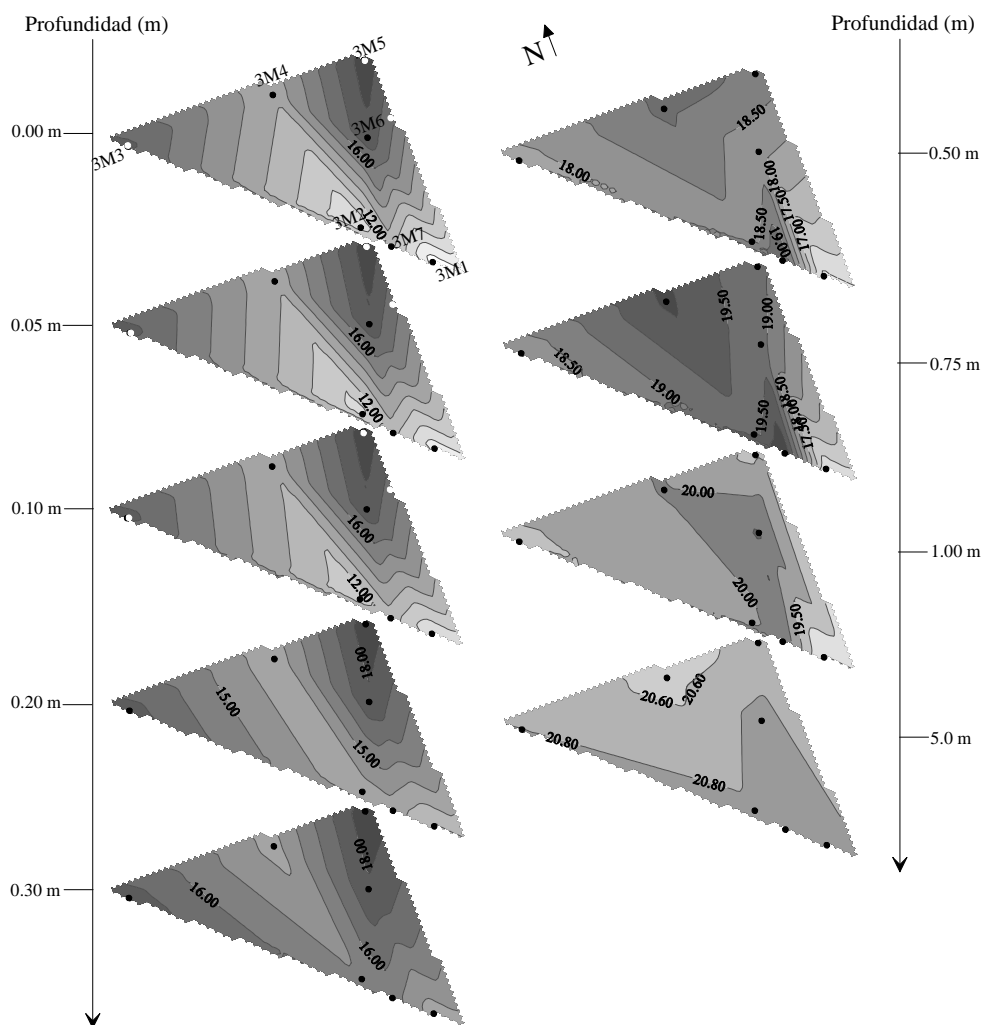


Figura 4.3.9. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 3. (Las distribuciones a las profundidades de 0.50, 0.75, 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes).

4.3.3.- Amonio

En este muestreo el máximo valor encontrado corresponde a $3.8 \mu\text{mol/L}$ en la estación 3M1 a la profundidad de 0.00 m. El menor es de $1.3 \mu\text{mol/L}$ y se localiza a 0.50 m de profundidad en la estación 3M5. En la tabla 4.3.2 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	3.8	0.00	2.1	-5.0
3M2	2.9	-0.20	1.6	-0.75, -1.00
3M7	2.6	-0.05, -0.30	1.5	-0.75, -5.0
3M4	2.5	0.00, -0.05, -0.20	1.6	-5.0
3M3	3.3	0.00, -0.75	1.4	-5.0
3M6	2.2	-0.10, -0.20	1.8	-1.00, -5.0
3M5	2.6	-0.30	1.3	-0.50

Tabla 4.3.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

El rango de variación en la concentración de amonio en este muestreo es algo similar al encontrado en el muestreo anterior, aunque en general los valores son más altos destacando especialmente los de los puntos de mayor profundidad y salinidad donde se alcanza valores tan solo algo menores que en superficie y no encontramos ningún valor por debajo del límite de detección del método analítico ($<0.1 \mu\text{mol/L}$), siendo todos mayores de $1.0 \mu\text{mol/L}$.

El aumento que se produce en este nutriente especialmente en las capas más salinas y profundas con respecto al día anterior, viene acompañado como posteriormente veremos de:

- Unos descensos en las concentraciones promedio de nitrato y PSR mayores de lo esperado y no proporcionales al aumento de clorinidad.
- Una disminución en el ácido ortosilícico menor de lo que cabe esperar del aumento de clorinidad.

La unión de estos factores nos lleva a pensar en dos posibles causas:

- El agotamiento del nutriente limitante (PSR) provoca que los organismos fitoplanctónicos senescentes caigan a las capas más profundas aumentando las concentraciones de amonio. Pero esta hipótesis debería desecharse por que como veremos posteriormente no hay ni siquiera un mínimo reflejo en los perfiles de clorofila *a*.

- El consumo herbívoro (zooplancton) mineraliza el nitrógeno orgánico absorbido de las comunidades de fitoplancton y bacterioplancton, con lo que al

moverse hacia las capas más salinas y profundas puede llegar a liberar amonio y aumentaría también el ácido ortosilícico por la disolución de la sílice biogénica de las frústulas de las diatomeas. En contra se puede aducir la falta de un fenómeno similar en el PSR, pero al ser el fósforo el factor limitante éste será absorbido rápidamente conforme es generado.

Como ya hemos visto en otros muestreos y debido a que las concentraciones de amonio de origen fluvial normalmente son mayores que las marinas, la distribución de este nutriente en la pluma estuarina tiende a ser inversa a la de la clorinidad. Por ello en las estaciones de mayor influencia fluvial y a nivel más superficial es donde se localizan las mayores concentraciones, encontrando los menores valores de amonio en las estaciones más salinas y con menor influencia continental y a las mayores profundidades.

En la figura 4.3.10 se ha representado la distribución superficial a 0.00 m de profundidad, donde vemos que no se observa claramente el desplazamiento de la pluma estuarina hacia el noroeste, como ocurría con la clorinidad.

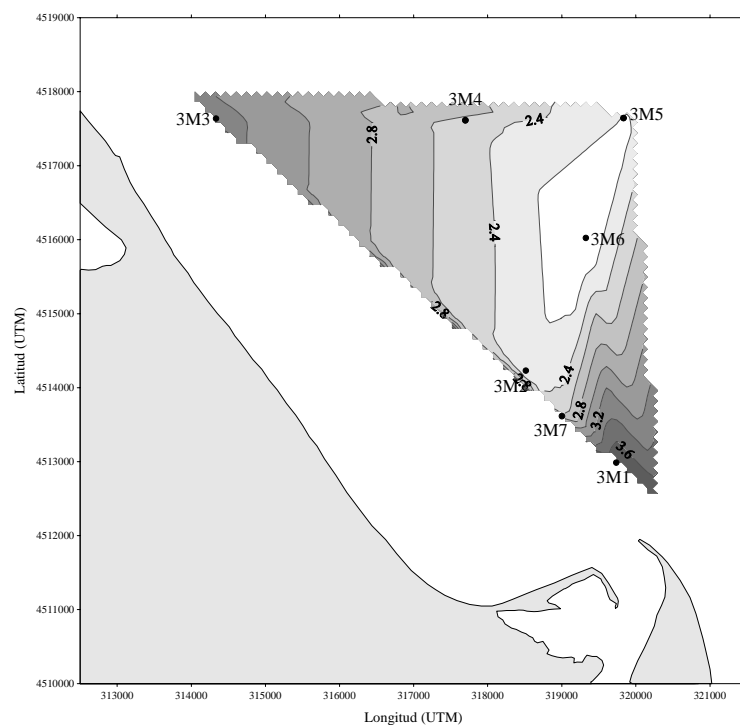


Figura 4.3.10. Distribución superficial de amonio ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 3.

Esto puede ser achacado a dos causas principales:

- Las pequeñas diferencias existentes entre las concentraciones fluviales y marinas.

- Las elevadas tasas de entradas y salidas a esta especie de nitrógeno. En este caso habría que destacar una clara actividad amonificadora por la actuación del zooplancton, y un crecimiento claro del fitoplancton que ha producido una reducción del nitrato y del PSR, lo que lógicamente habrá afectado en mayor medida al amonio que al nitrato al ser el preferencial.

En la figura 4.3.11 se representa la distribución vertical de este nutriente en el transecto formado por las estaciones 3M1, 3M2 y 3M3. Al igual que ocurría en los muestreos anteriores y por las razones ya apuntadas, no se observa una clara pauta de disminución de la concentración al aumentar la profundidad.

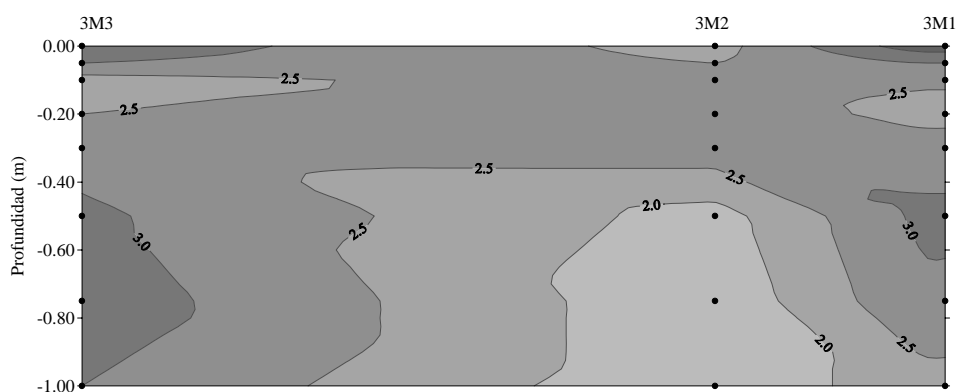


Figura 4.3.11. Distribución vertical de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

Como ya se ha comentado en numerosas ocasiones en los muestreos anteriores, las abundantes entradas y salidas de este nutriente y la alta absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica provocan las discontinuidades que podemos observar en la figura 4.3.11 y también en la 4.3.12, donde se representa los perfiles verticales de cada una de las estaciones. Lo primero a destacar son los altos valores encontrados en esta campaña en las aguas más salinas, y que son los más elevados de estos tres primeros muestreos, por las razones ya comentadas anteriormente.

En ninguna de las estaciones el amonio disminuye con la profundidad de manera continua, sino que se dan diversos aumentos y disminuciones. Estos se producen generalmente en los 30 cm superiores de la columna de agua. A mayor profundidad se encuentran algunos aumentos en 3M1 (0.50 m), 3M3 (0.75 m) y

3M5 (1.00 m). También se ha de destacar que en todas las estaciones las concentraciones encontradas a 5.0 m son similares a las encontradas a 1.00 m de profundidad, excepto en la estación 3M3, lo que nos indica una inusual carga de este nutriente en las capas de agua más profundas, como ya hemos comentado anteriormente.

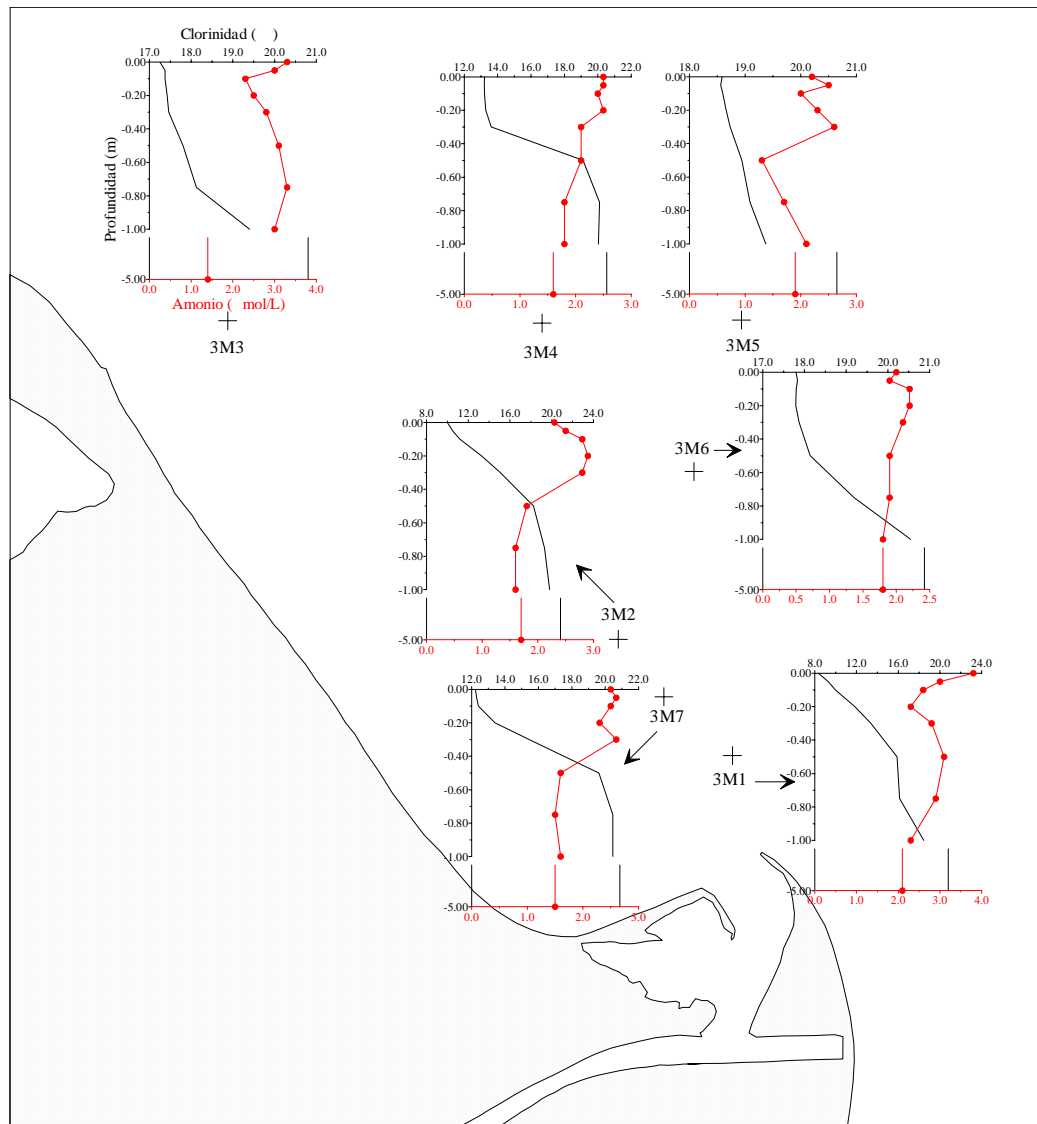


Figura 4.3.12. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 3.

En la figura 4.3.13 se muestra el comportamiento de este nutriente en el proceso de mezcla para cada una de las estaciones. Es de destacar nuevamente los altos valores encontrados, todos ellos superiores a los que corresponderían si la mezcla entre el agua dulce/salobre y la marina fuera ideal, al quedar por encima de la línea de mezcla ideal de origen fluvial, generando ganancias, como ya ocurría en el muestreo anterior. Como ya se ha comentado anteriormente estas

ganancias pueden ser achacadas probablemente al consumo del zooplancton que mineraliza el nitrógeno orgánico absorbido de las comunidades planctónicas y bacterianas y a su posterior eliminación como amonio.

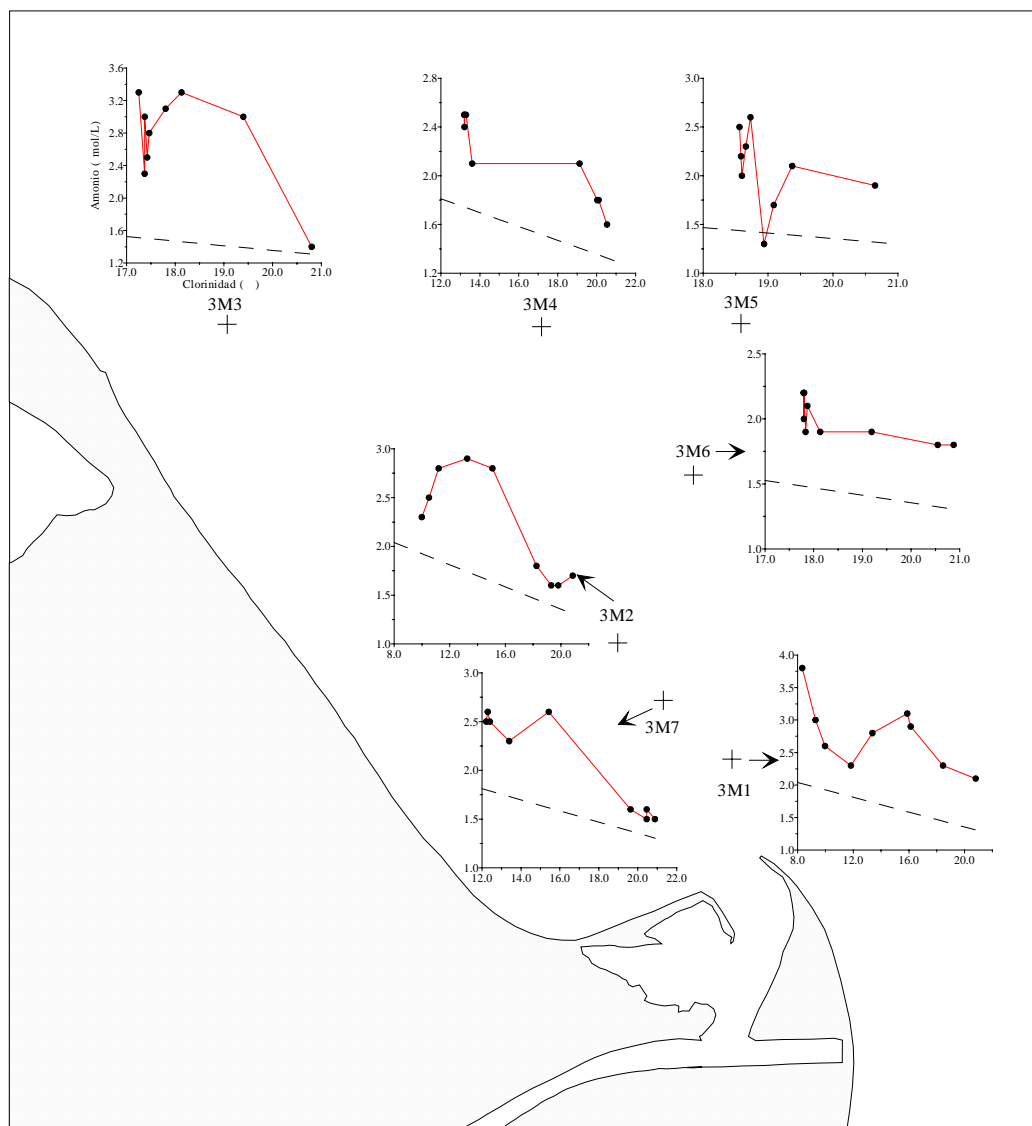


Figura 4.3.13. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

En la figura 4.3.14 se observa el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina. Éste es bastante similar al del muestreo realizado del 10 de julio, donde todas las muestras quedan situadas por encima de la línea de mezcla ideal de origen fluvial, lo que nos indica, como ya dijimos en su momento, que la alta absorción por parte de las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas queda ampliamente compensada por la eliminación del amonio proveniente de las comunidades de zooplancton.

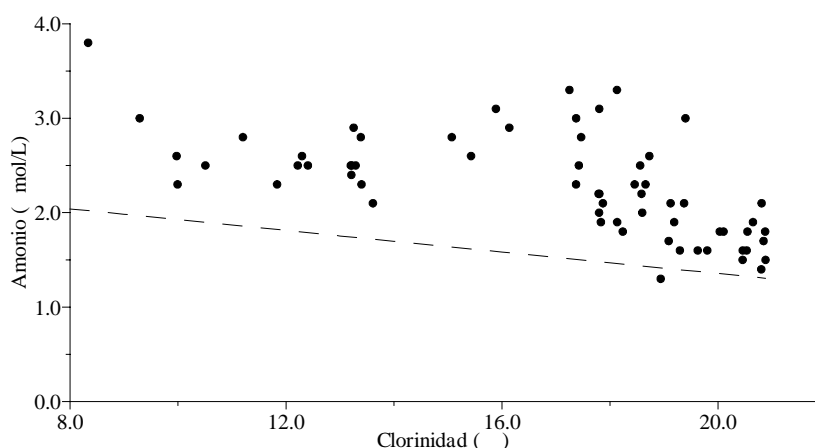


Figura 4.3.14. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 3.

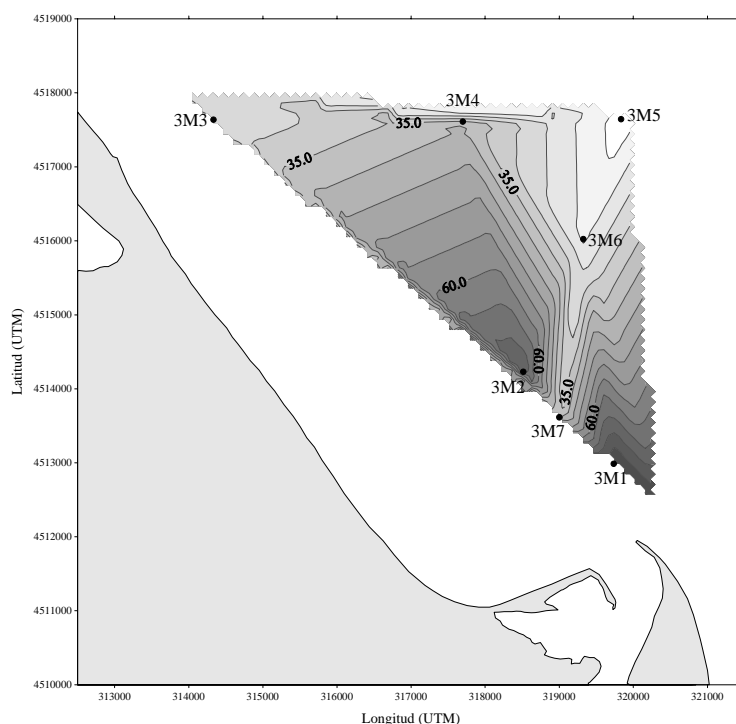
4.2.4.- Nitrato

La concentración de este nutriente posee un rango de variación algo menor que en el muestreo anterior, como también ocurre con la clorinidad y con el amonio. Varía desde un máximo de 85.8 $\mu\text{mol/L}$ a 0.00 m en la estación 3M1 hasta un mínimo inferior a 0.1 $\mu\text{mol/L}$ en 3M7, 3M4 y 3M5 a 5.0 m y en 3M6 a 1.00 m. En la tabla 4.3.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	85.8	0.00	0.6	-5.0
3M2	75.1	0.00	0.3	-5.0
3M7	52.2	-0.10	<0.1	-5.0
3M4	43.3	-0.10	<0.1	-5.0
3M3	24.7	0.00	0.5	-5.0
3M6	19.1	0.00	<0.1	-1.00
3M5	13.2	-0.10	<0.1	-5.0

Tabla 4.3.3. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrato en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

El rango de variación es menor que en muestreos anteriores y cabe achacarlo tanto a que también lo es el de la salinidad, ya que en las muestras de menor salinidad tiene un comportamiento conservativo, como a la absorción por parte de la comunidad planctónica.



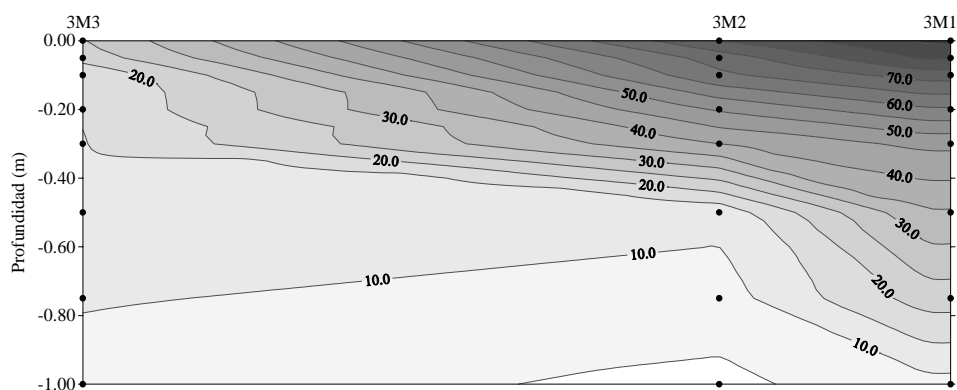


Figura 4.3.16. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

Pero aunque en este transecto no parece haber desviaciones de esta clara pauta de disminución, en la figura 4.3.17 donde se muestra los perfiles verticales en cada una de las estaciones, vemos que no es así para otras estaciones.

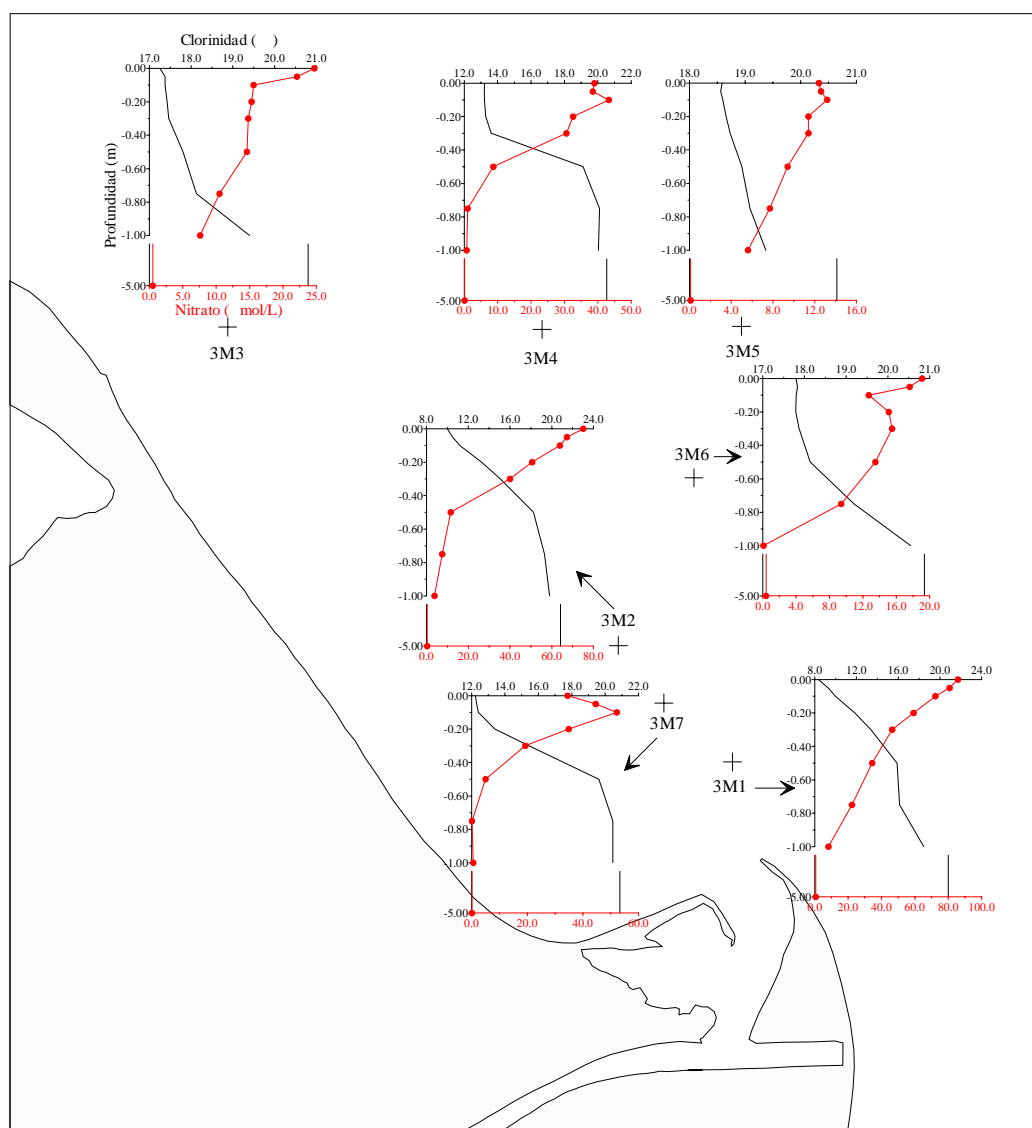


Figura 4.3.17. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 3.

Se aprecian algunas pequeñas desviaciones con respecto a la mezcla física pura en las capas más superficiales. En todas las estaciones la concentración de nitrato disminuye con la profundidad, llegando incluso a valores indetectables en algunas estaciones a las mayores profundidades, y siendo a 5.0 m siempre menores de 1.0 $\mu\text{mol/L}$.

En las estaciones 3M1, 3M2 y 3M3 no se produce ninguna desviación de esta pauta, pero sin embargo en el resto sí se producen en los primeros centímetros de la columna de agua. En 3M7, 3M4 y 3M5 la concentración a 10 cm de profundidad es mayor que en los puntos superiores y en 3M6 el valor a 10 cm es inferior al de 20 cm. Estos desvíos cabe achacarlos, como en otros casos, a los efectos de la actividad biológica. De hecho, como veremos posteriormente, también en 3M7 y 3M4 se dan fenómenos similares en el caso del PSR y en las restantes en las que se da este fenómeno (3M6 y 3M5) el PSR está totalmente agotado.

En la figura 4.3.18 se representa el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones, donde observamos que, al igual que ocurría en el muestreo anterior, en ninguna de las estaciones se producen ganancias. En todas las estaciones se observan pérdidas de diferente magnitud en el proceso de mezcla. Al igual que ocurría en el muestreo anterior, la predominancia de procesos como la absorción fitoplanctónica, provoca las disminuciones y pérdidas de la concentración de esta especie de nitrógeno encontradas en este muestreo. También en el caso del PSR se da este proceso, aunque es más marcado que en el caso del nitrato al ser el fósforo el nutriente limitante.

El comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina se muestra en la figura 4.3.19. En general el nitrato parece comportarse de manera aproximadamente conservativa, siendo a clorinidades intermedias (12-16‰) donde se producen las mayores pérdidas. Éstas cabe achacarlas sobre todo a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica.

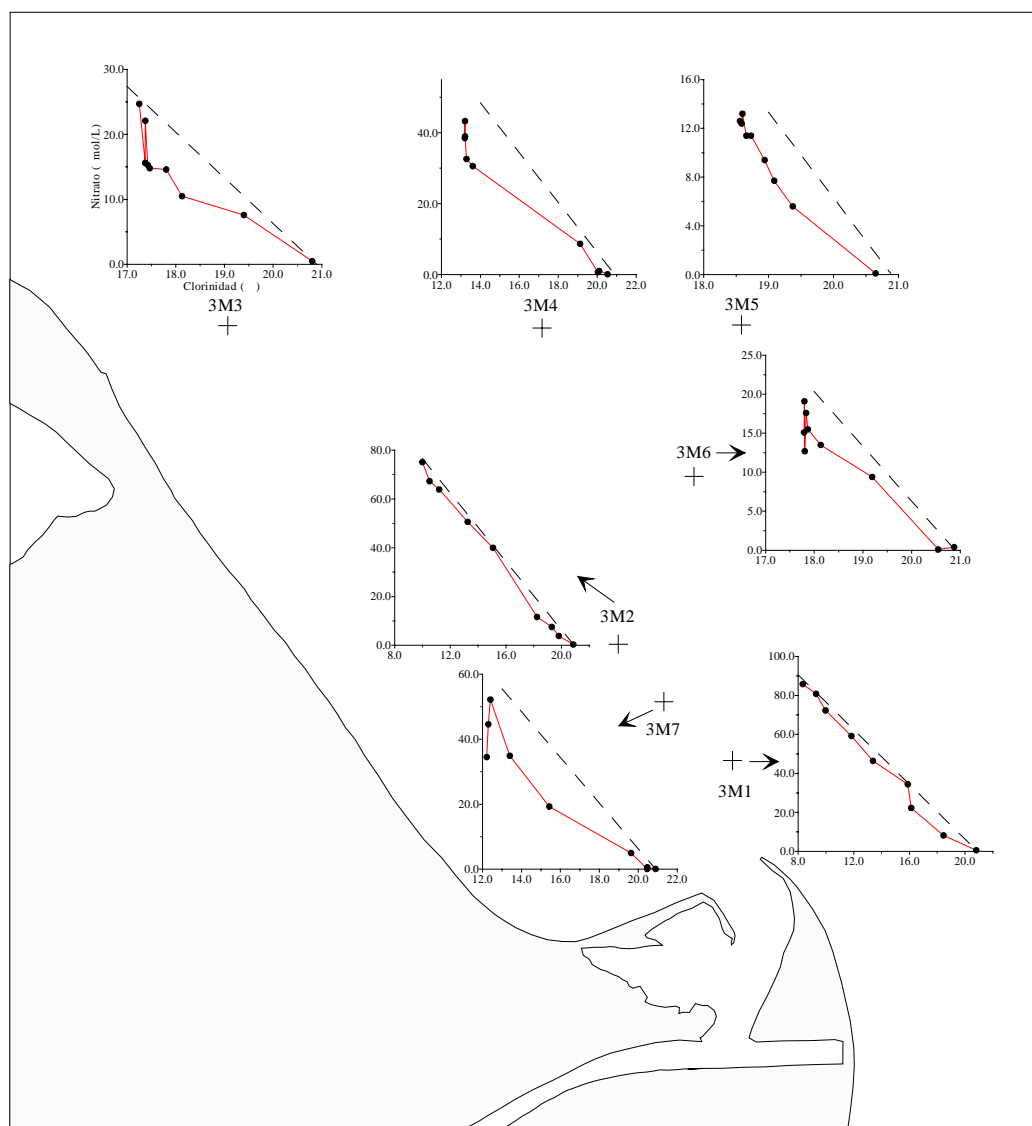


Figura 4.3.18. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

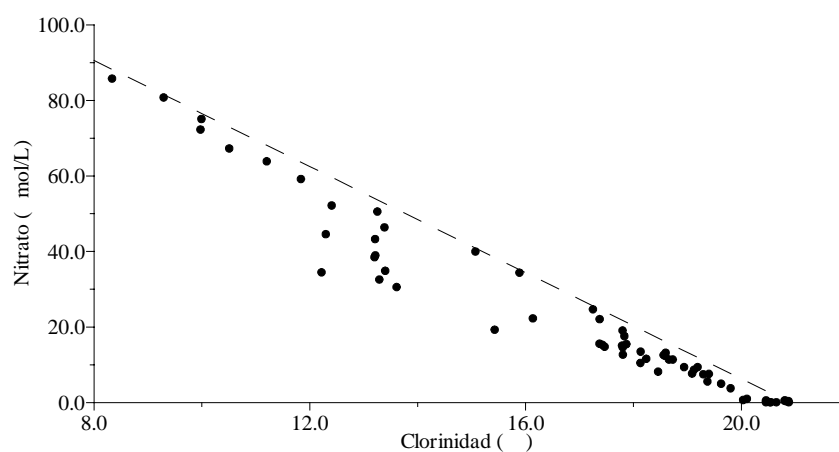


Figura 4.3.19. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 3.

4.3.5.- Nitrito

Igual que ocurre con el nitrato, el rango de variación de esta forma de nitrógeno es algo menor que el del muestreo anterior. El valor máximo encontrado se localiza en la estación 3M1 a 0.00 m de profundidad y corresponde a 0.35 $\mu\text{mol/L}$, mientras que el mínimo es inferior al límite de detección del método analítico (0.01 $\mu\text{mol/L}$) y se da en todas las estaciones a las mayores profundidades, incluso a partir de 50 cm en 3M7 y 3M4. En la tabla 4.3.4 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	0.35	0.00	<0.01	-5.0
3M2	0.31	0.00, -0.05	<0.01	-0.75, -1.00, -5.0
3M7	0.28	0.00, -0.05, -0.10	<0.01	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
3M4	0.25	-0.10	<0.01	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
3M3	0.06	0.00	<0.01	-1.00, -5.0
3M6	0.05	0.00, -0.20	<0.01	-0.75, -1.00, -5.0
3M5	0.02	0.00, -0.10	<0.01	-5.0

Tabla 4.3.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

Al igual que ocurría en los muestreos anteriores, la concentración fluvial de esta especie de nitrógeno es claramente mayor que la marina, por lo que las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia continental, disminuyendo conforme las aguas se vuelven más salinas, llegando incluso a valores menores de 0.01 $\mu\text{mol/L}$.

En la figura 4.3.20 se ha representado la distribución superficial de este nutriente, observando que la concentración de 3M7 provoca el mismo tipo de pauta que ya se observó para la clorinidad y para las otras dos formas de nitrógeno.

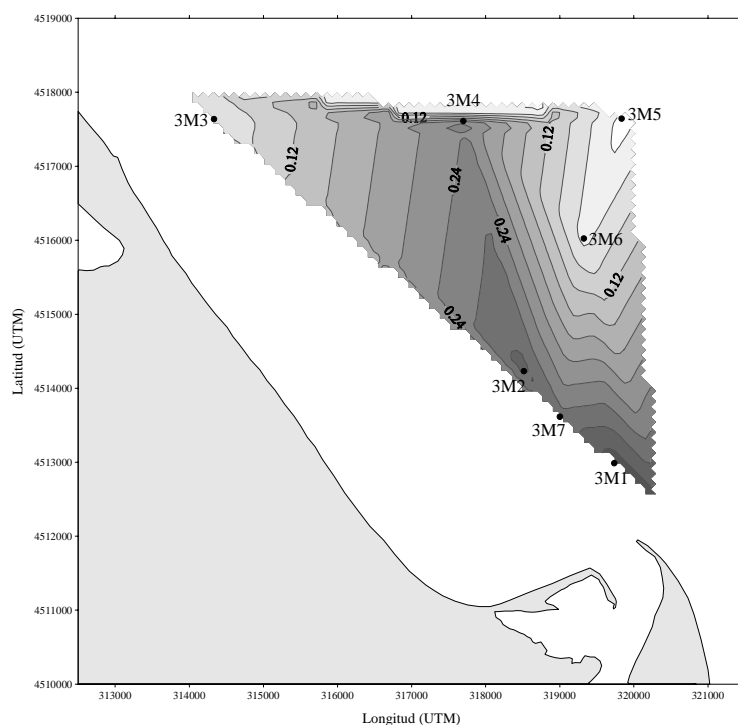


Figura 4.3.20. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 3.

En la figura 4.3.21 se muestra la distribución vertical para el transecto 3M1-3M3, donde se observa que la concentración de nitrato va disminuyendo al alejarnos de la boca del río Ebro y al aumentar la profundidad, aunque queda patente la existencia de pequeñas desviaciones de esta pauta vertical de disminución.

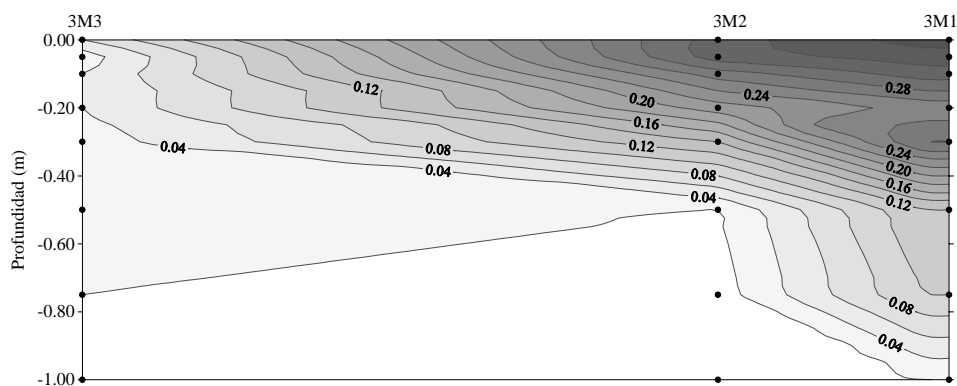


Figura 4.3.21. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

Estas desviaciones se llegan a observar con mayor precisión en la figura 4.3.22. En general la concentración disminuye gradualmente al aumentar la profundidad, llegando a valores cercanos al agotamiento en todas las estaciones a las mayores profundidades, aunque incluso a 50 cm de profundidad ya encontramos valores menores de $0.01 \mu\text{mol/L}$ en las estaciones 3M7, 3M4 y 3M5.

De hecho en 3M3, 3M6 y 3M5 encontramos valores muy pequeños en toda la columna de agua, lo que cabe achacar a la absorción fitoplanctónica.

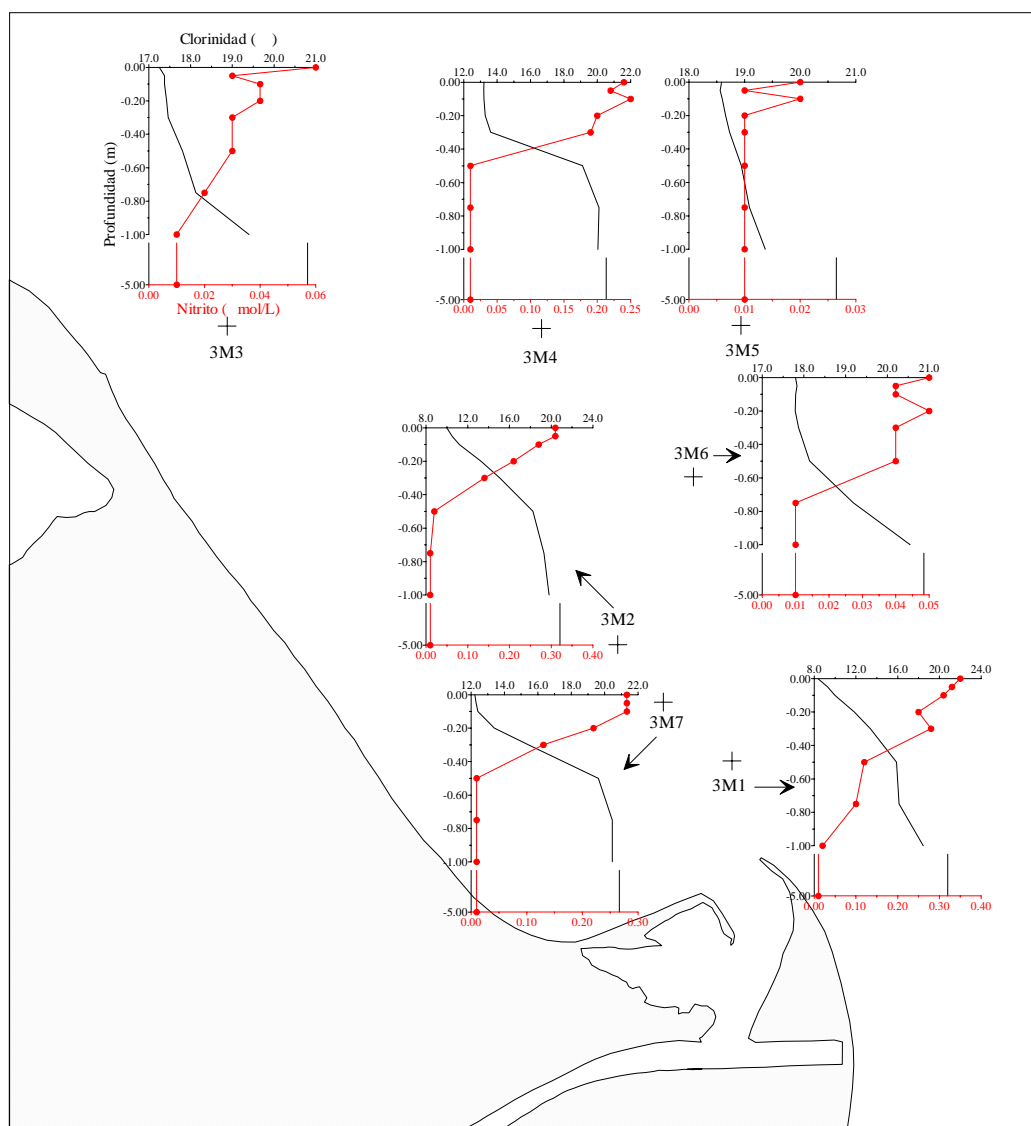


Figura 4.3.22. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 3.

Aunque la pauta general es de disminución de la concentración con la profundidad, encontramos pequeñas desviaciones en algunas estaciones en las capas de agua más superficiales. Así, en 3M2 y 3M7 la concentración permanece casi constante en los primeros centímetros (0.00-0.05 y 0.00-0.10 cm, respectivamente), mientras que en el resto se observan pequeños aumentos o disminuciones (3M1 en 0.30 m, 3M4 y 3M5 en 0.00-0.10 m y 3M3 y 3M6 en 0.00-0.20 m). Estas disminuciones encontradas en la capa más superficial pueden ser achacadas a una alta absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación, junto al movimiento de los microorganismos.

El comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones se muestra en la figura 4.3.23. Al igual que ocurría en el muestreo anterior, en todas las estaciones el nitrito sufre pérdidas bastante acusadas debido a que la absorción fitoplanctónica y/o la nitrificación no se ven compensadas por otros procesos que aumentarían su concentración, provocando que a profundidades relativamente pequeñas (0.50 m) el nitrito llegue a límites cercanos al agotamiento.

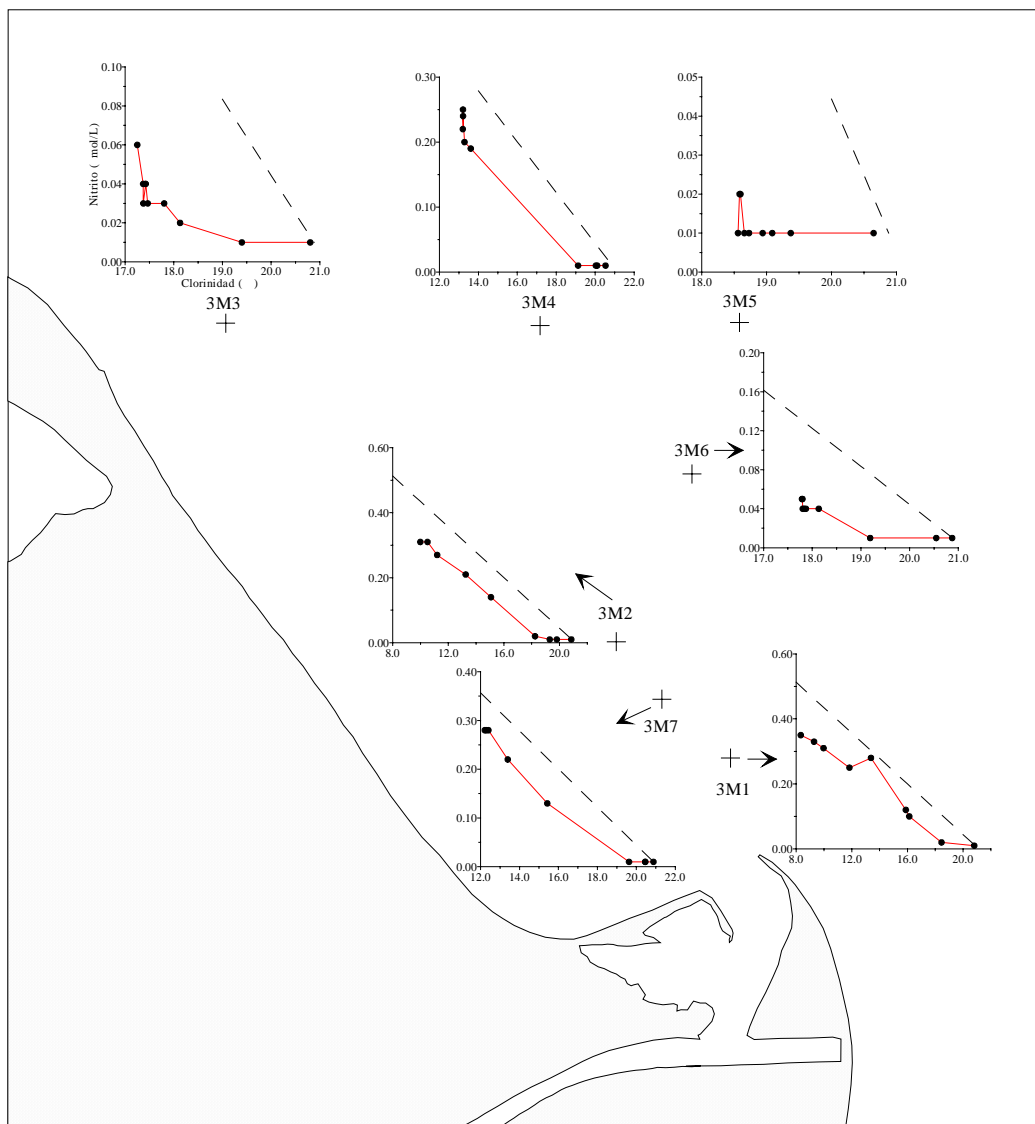


Figura 4.3.23. Comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

En la figura 4.3.24 se representa el comportamiento global en la pluma estuarina, donde se observa que, respecto a la línea de origen fluvial, el nitrito sufre pérdidas acusadas debidas a la alta absorción fitoplanctónica y/o a la

nitrificación, que provocan que a clorinidades cercanas a 18‰ llegue a niveles cercanos al agotamiento.

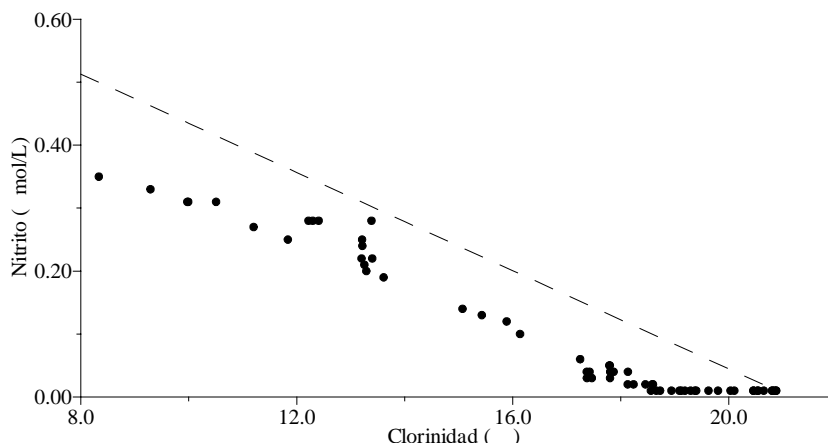


Figura 4.3.24. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 3.

4.3.6.- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

Las concentraciones de NID tienen un rango de variación muy similar al del nitrato, como era de esperar por el mayor peso de éste respecto al amonio y al nitrito, y es algo menor al encontrado en el muestreo anterior. El valor máximo se localiza en la estación 3M1 a 0.00 m de profundidad y resulta ser de 89.9 $\mu\text{mol/L}$, mientras que el mínimo corresponde a 1.5 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en 3M7 a 0.75 y 5.0 m. En la tabla 4.3.5 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	89.9	0.00	2.6	-5.0
3M2	77.7	0.00	2.0	-5.0
3M7	55.0	-0.10	1.5	-0.75, -5.0
3M4	45.9	-0.10	1.6	-5.0
3M3	28.0	0.00	1.9	-5.0
3M6	21.1	0.00	1.8	-1.00
3M5	15.2	-0.10	1.9	-5.0

Tabla 4.3.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

Por las mismas razones ya apuntadas en los muestreos anteriores, las distribuciones y el comportamiento del NID son aproximadamente las mismas que

las del nitrato. Así, y debido a los aportes continentales, las mayores concentraciones de NID se localizan a nivel superficial y en las estaciones de mayor influencia fluvial y las menores en las capas más profundas y en las estaciones de menor influencia.

En las figuras 4.3.25 y 4.3.26 se ha representado los perfiles y el comportamiento del NID en cada una de las estaciones, donde se observan gráficos muy similares a los del nitrato (figuras 4.3.17 y 4.3.18).

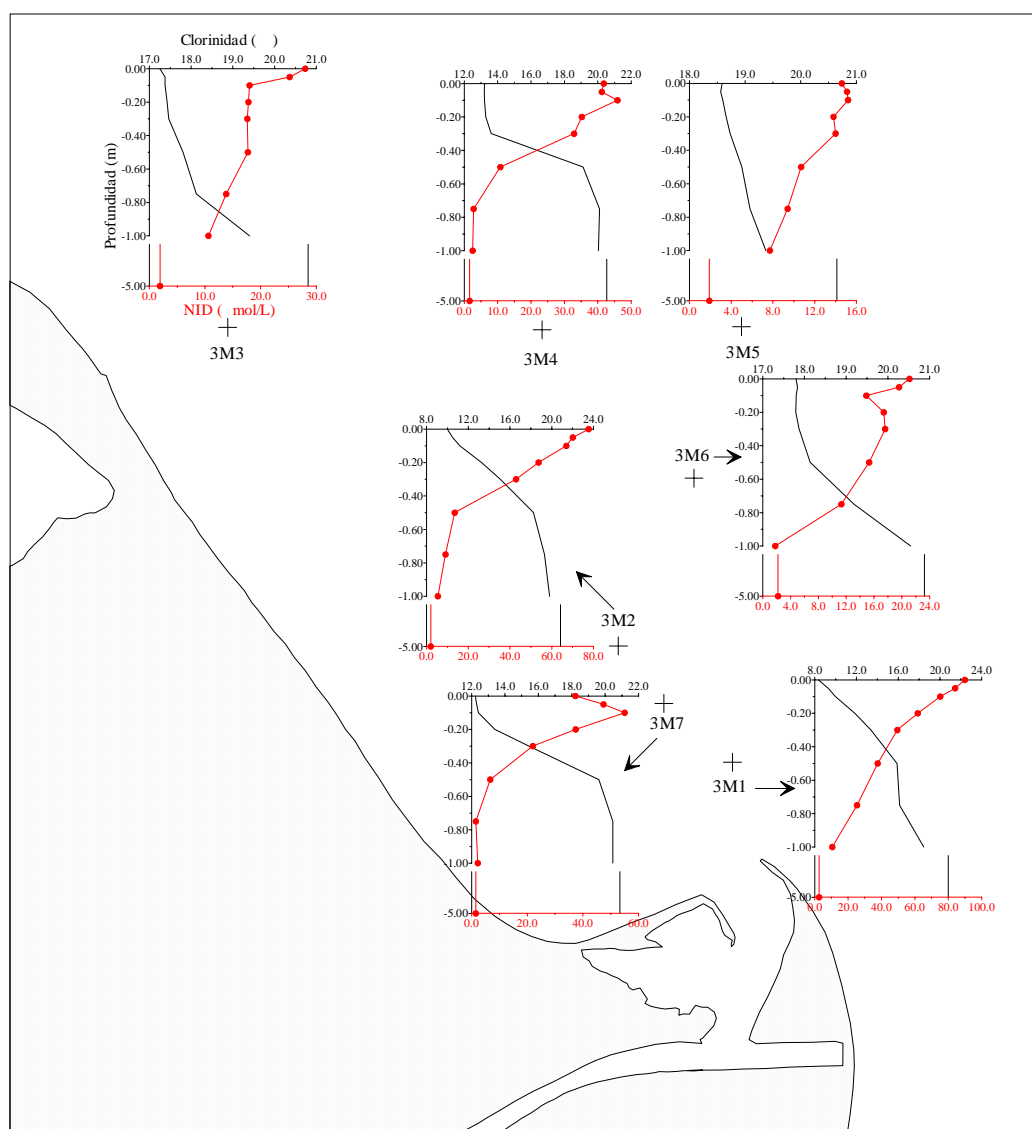


Figura 4.3.25. Perfiles verticales de NID. Muestreo 3.

La concentración de NID disminuye con la profundidad y la clorinidad en todas las estaciones, aunque se encuentran pequeñas desviaciones con respecto a lo que sería de esperar por la dilución de las aguas más dulces y cargadas de

nutrientes con las más salinas y pobres en nutrientes. En las estaciones 3M1, 3M2 y 3M3 no se produce ninguna desviación de esta pauta general, pero sí en el resto en los primeros centímetros de la columna de agua y en las capas de menor clorinidad. En todas las estaciones se observan pérdidas de diferente magnitud en el proceso de mezcla, pues como ocurría con el nitrato, la absorción fitoplanctónica predomina sobre los restantes procesos que aumentarían su concentración.

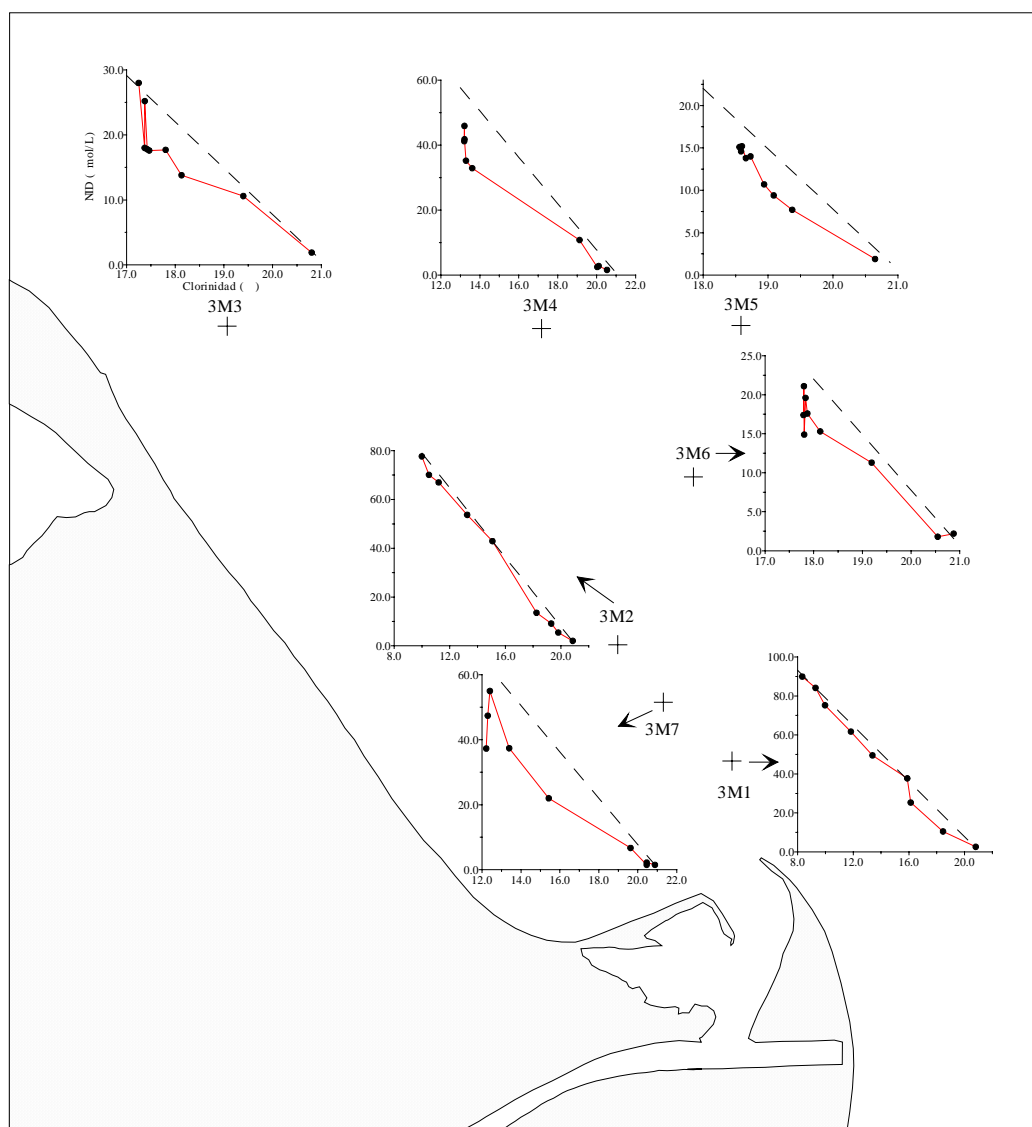


Figura 4.3.26. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

En la figura 4.3.27 se representa el comportamiento global del NID en la pluma estuarina, muy similar al del nitrato. Se comporta en general de manera aproximadamente conservativa aunque a clorinidades intermedias (12-16‰) se

producen pérdidas que cabe achacarse a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica.

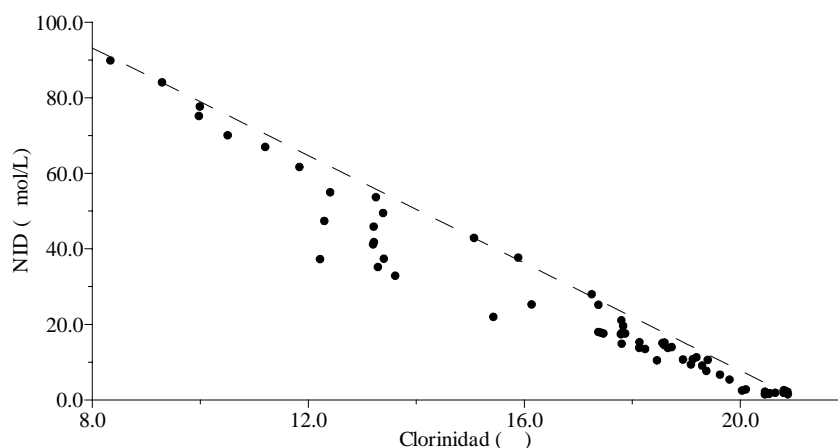


Figura 4.3.27. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 3.

4.3.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

En la tabla 4.3.6 se muestra los valores desechados (subrayados) para este muestreo al no cumplirse que la concentración de PSR sea menor o igual que la de PDT y ésta menor o igual que la de PT.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)
3M5-5.0	<0.03	0.05	<u><0.03</u>

Tabla 4.3.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 3.

Igual que con las formas de nitrógeno ya estudiadas, el PSR posee un rango de variación algo menor al encontrado en el muestreo anterior. Varía desde un máximo de $0.68 \mu\text{mol/L}$ a 0.00 m de profundidad en la estación 3M1, hasta unos mínimos inferiores al límite de detección del método analítico encontrados en multitud de muestras. En la tabla 4.3.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes. De nuevo las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia continental (3M1, 3M2 y 3M7). Éstas disminuyen al alejarnos de la desembocadura y hacerlo la influencia fluvial, llegando a límites cercanos al agotamiento en las dos estaciones más alejadas (3M6 y 3M5). Es a nivel superficial donde se localizan los mayores valores de PSR debido a que, como ya hemos comentado en múltiples ocasiones, las aguas dulces/salobres del río, menos densas, flotan sobre las más salinas. En cambio a las mayores

profundidades los valores de PSR están cercanos al agotamiento en todas las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	0.68	0.00	<0.03	-1.00, -5.0
3M2	0.51	0.00	<0.03	-0.50, -0.75 -1.00, -5.0
3M7	0.34	0.00	<0.03	-0.50, -0.75 -1.00, -5.0
3M4	0.15	-0.30	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
3M3	0.05	0.00	<0.03	-0.05, -0.10, -0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0
3M6	<0.03 a todas las profundidades			
3M5	<0.03 a todas las profundidades			

Tabla 4.3.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

En la figura 4.3.27 se muestra la distribución superficial de este nutriente, observando que sus concentraciones van disminuyendo al hacerlo la influencia continental. Es de resaltar que, al igual que ocurría con el resto de nutrientes ya estudiados, el menor valor de 3M7 respecto al de 3M2 genera una distribución algo particular.

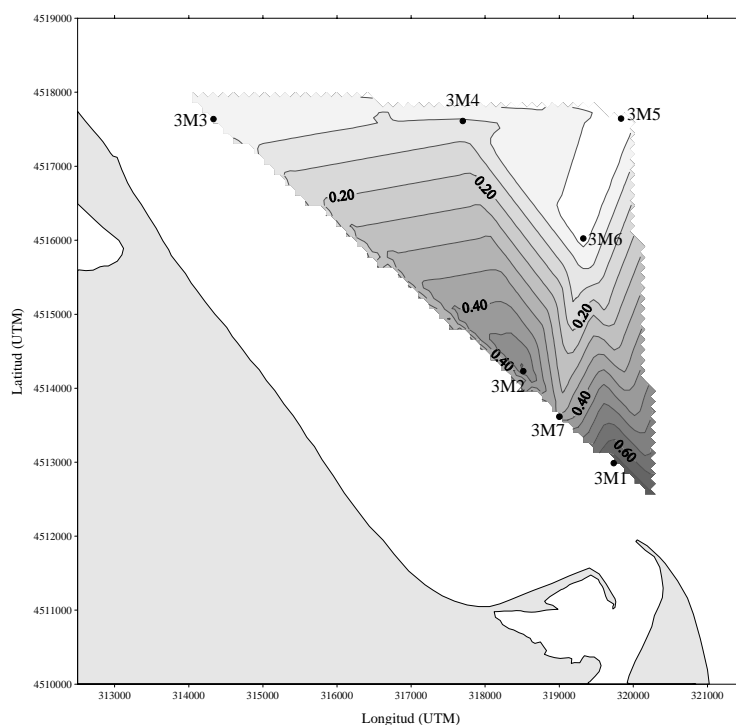


Figura 4.3.27. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 3.

En la figura 4.3.28 se representa la distribución vertical de este nutriente en el transecto formado por las estaciones 3M1, 3M2 y 3M3.

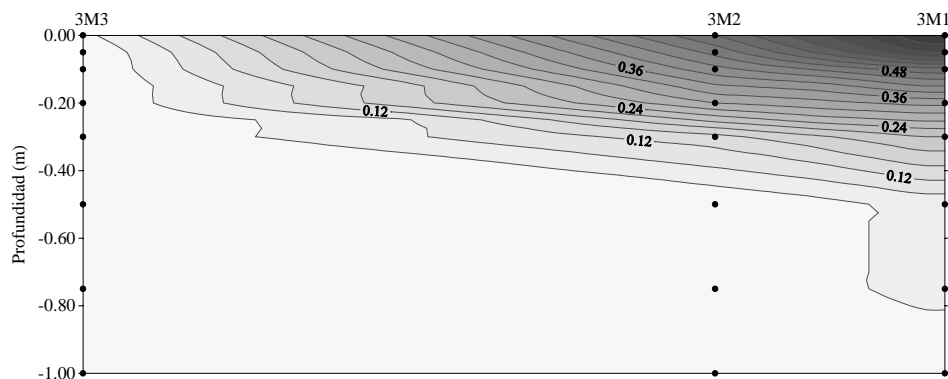


Figura 4.3.28. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

En esta figura se observa que, como era de esperar, la concentración va disminuyendo al aumentar la profundidad y la clorinidad. Es de resaltar que estas concentraciones llegan a límites cercanos al agotamiento en algunas estaciones a unas profundidades relativamente pequeñas.

La disminución de la concentración con la profundidad en cada una de las estaciones se muestra en la figura 4.3.29, donde observamos tres tipos de perfiles diferentes:

- Para las estaciones 3M1, 3M2 y 3M3 esta disminución es gradual a lo largo de toda la columna de agua.

- En cambio, en las estaciones 3M4 y 3M7 se observan algunas pequeñas desviaciones en los primeros centímetros, que cabrían achacarse a una alta absorción fitoplanctónica y al movimiento de la comunidad planctónica en esta delgada capa de agua.

- Por último, en las estaciones 3M5 y 3M6, se encuentran valores de PSR menores a $0.03 \mu\text{mol/L}$ en todo el rango de concentraciones, debido a que la alta absorción fitoplanctónica ha dado lugar al agotamiento del PSR.

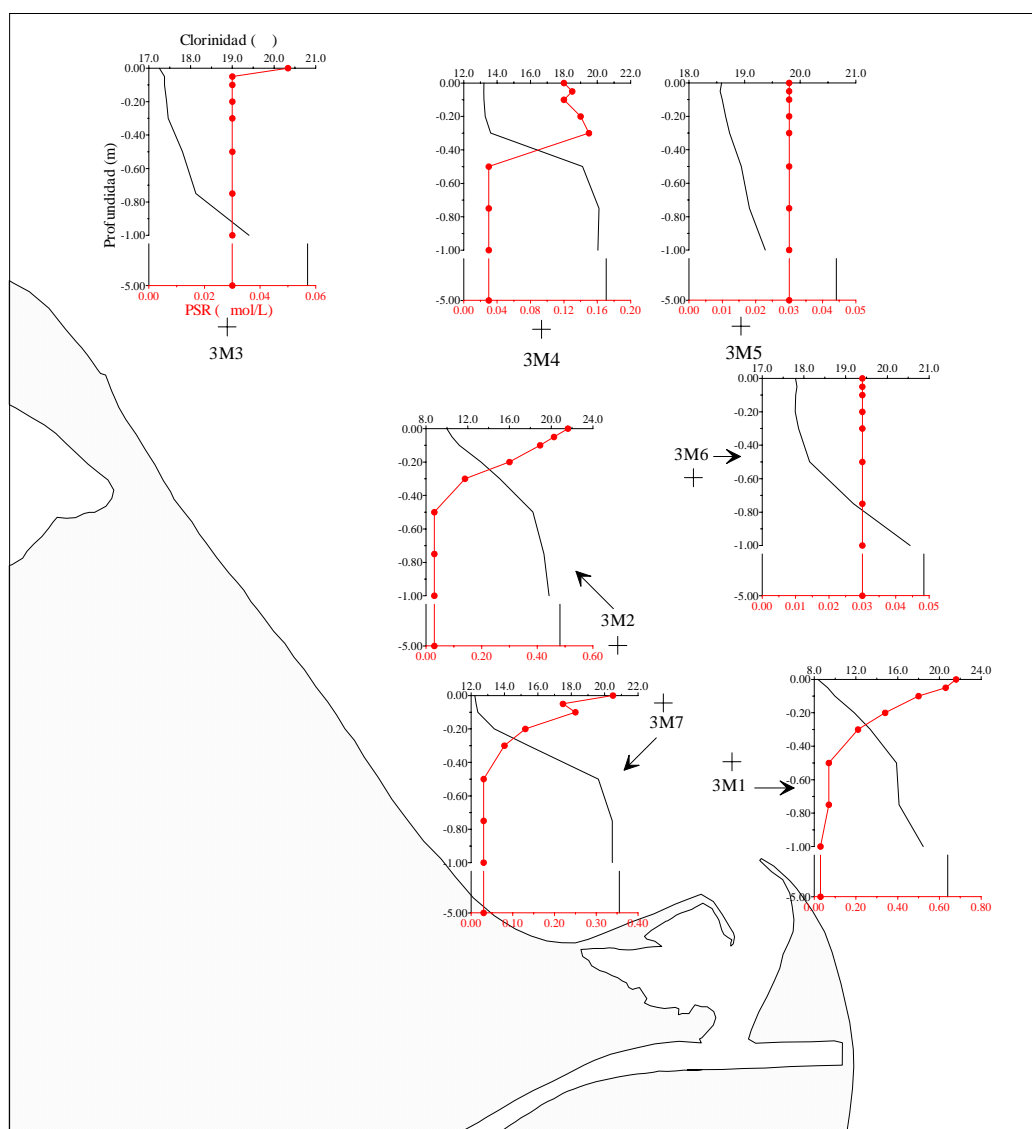


Figura 4.3.29. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 3.

En la figura 4.3.30 se muestra el comportamiento de este nutriente en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones. En todas ellas se observan claras pérdidas achacables a la alta absorción fitoplanctónica. Solamente hay que resaltar el pequeño aumento que parece producirse en la estación 3M4 a menor clorinidad, probablemente debido a excreciones de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas o simplemente a una menor absorción.

Con todo esto es de esperar que el comportamiento global del PSR en el proceso de mezcla englobando las 7 estaciones de la pluma estuarina sea de claras pérdidas en todo el rango de clorinidad, y así es, como se observa en la figura 4.3.31. En este muestreo, el alto consumo y asimilación del fosfato por parte de los diversos organismos fitoplanctónicos es el proceso dominante en la mezcla,

generando claras pérdidas y llegando al agotamiento a partir de clorinidades del orden de 17‰.

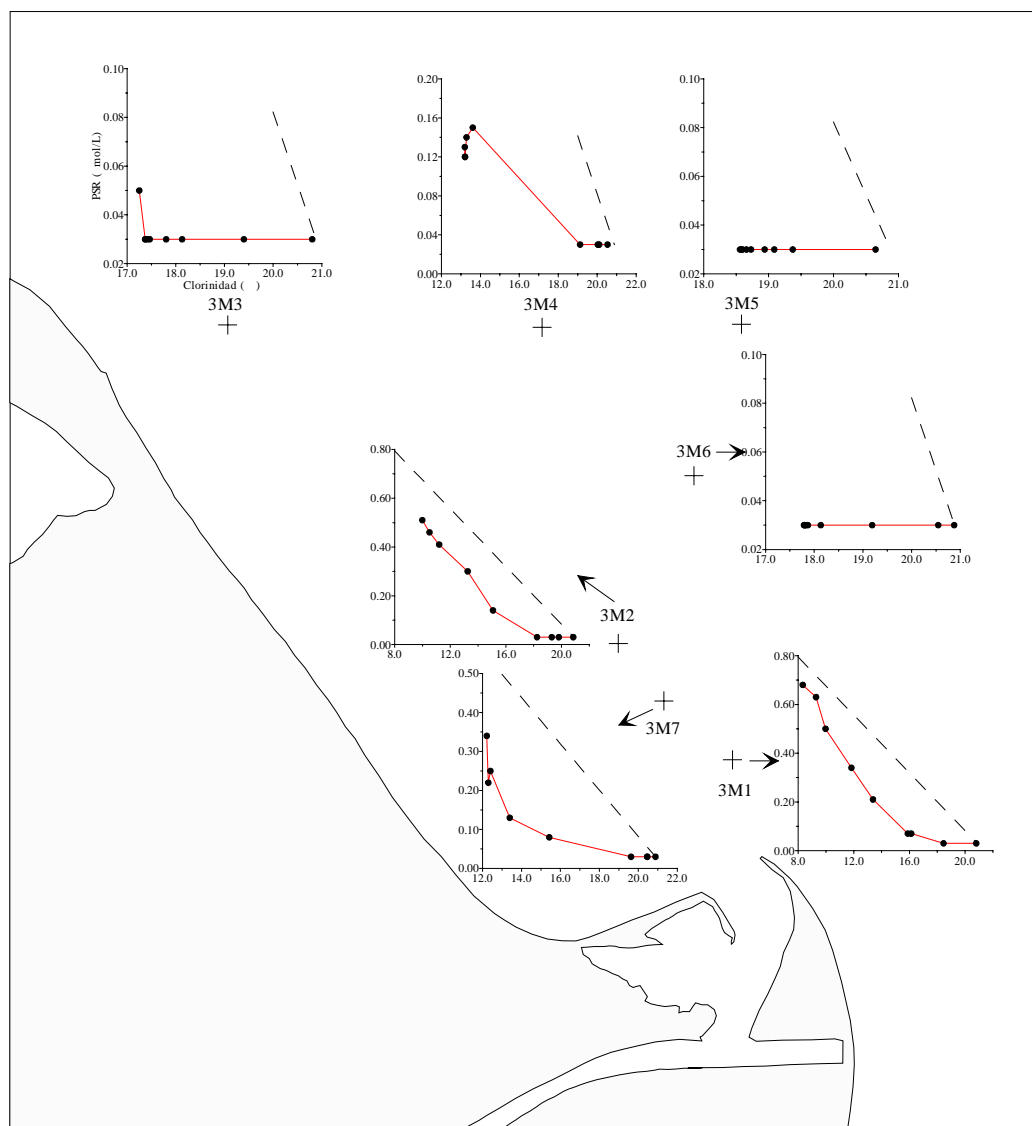


Figura 4.3.30. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

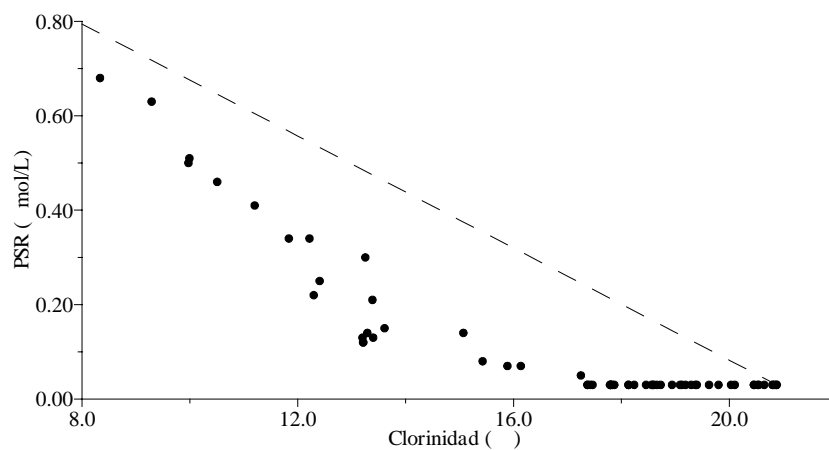


Figura 4.3.31. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 3.

4.3.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

La concentración de fósforo disuelto total (PDT) tiene un rango de variación algo menor al del muestreo anterior, desde un máximo de 0.93 $\mu\text{mol/L}$ en 3M1 en superficie, hasta unos mínimos inferiores a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en todas las estaciones generalmente a mayor profundidad. En la tabla 4.3.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	0.93	0.00	<0.03	-5.0
3M2	0.69	-0.05	<0.03	-5.0
3M7	0.50	0.00	<0.03	-0.75, -1.00
3M4	0.30	-0.05, -0.30	<0.03	-1.00, -5.0
3M3	0.22	0.00	<0.03	-5.0
3M6	0.20	-0.05	<0.03	-5.0
3M5	0.12	-0.75	<0.03	-0.05

Tabla 4.3.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

Al igual que ocurre con el PSR y con otros nutrientes, la mayor concentración se localiza en la estación de mayor influencia fluvial (3M1), disminuyendo al hacerlo la influencia continental. Las concentraciones también van disminuyendo al aumentar la profundidad en cada una de las estaciones, llegando a valores cercanos al agotamiento en todas las estaciones a las mayores profundidades, excepto en 3M5 cuya máxima concentración se alcanza en 0.75 m, como posteriormente comentaremos.

En la figura 4.3.32 se muestra la distribución horizontal del PDT en superficie, donde se observa lo mismo que ocurría para el resto de nutrientes estudiados, la concentración disminuye al alejarnos de la desembocadura, pero el menor valor detectado en 3M7 respecto a 3M2 genera esta distribución algo particular.

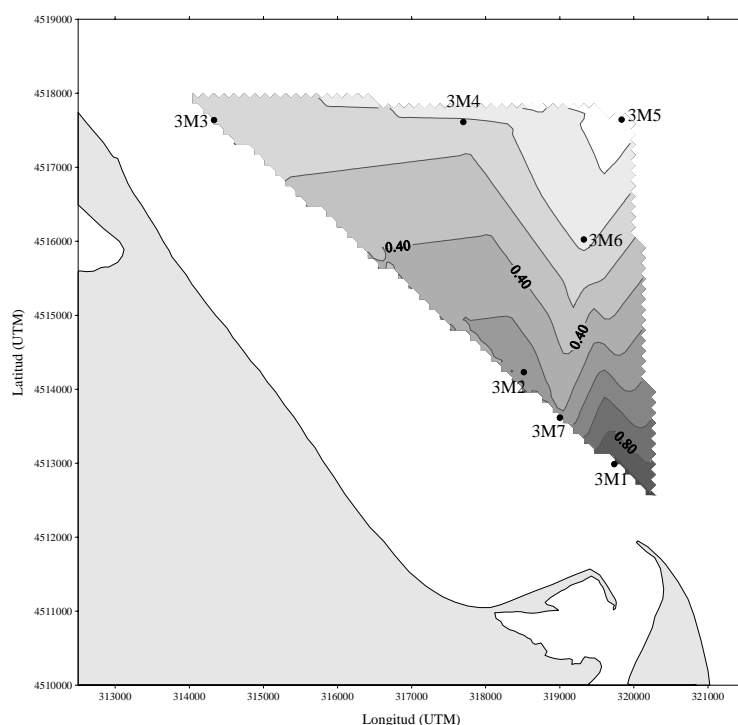


Figura 4.3.32. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 3.

La distribución vertical obtenida en el transecto 3M1-3M3 se muestra en la figura 4.3.33, donde se comprueba que el PDT tiende a disminuir al aumentar la profundidad pero con diversas desviaciones en algunas estaciones (por ejemplo 3M3).

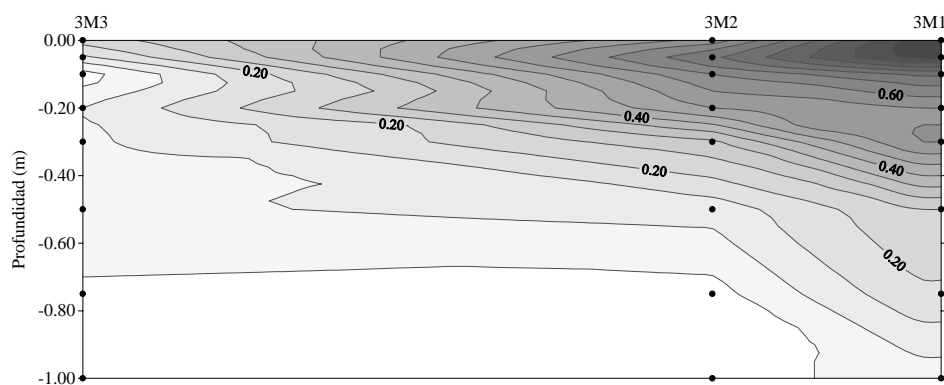


Figura 4.3.33. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

Estas desviaciones pueden observarse más claramente en la figura 4.3.34, donde se representa los perfiles para cada una de las estaciones. Encontramos diferencias claras entre estaciones. En 3M1, 3M2 y 3M7, estaciones de mayor influencia fluvial, los perfiles no presentan grandes desviaciones de la pauta general. Solamente en 3M2 se observa una pequeña desviación en los primeros 10 cm superficiales y que se debe a cambios en el POD ya que su perfil de PSR no presentaba ningún tipo de desviación (figura 4.3.29). En 3M4 y 3M3 encontramos

pequeñas desviaciones en la capa de agua más superficial, hasta 20-30 cm, siendo para la primera debidas al PSR y para la segunda al POD. Por último 3M6 y 3M5 poseen variaciones de la pauta general de disminución a diferentes profundidades debidas al POD, ya que el PSR posee valores cercanos al agotamiento en estas estaciones (figura 4.3.29).

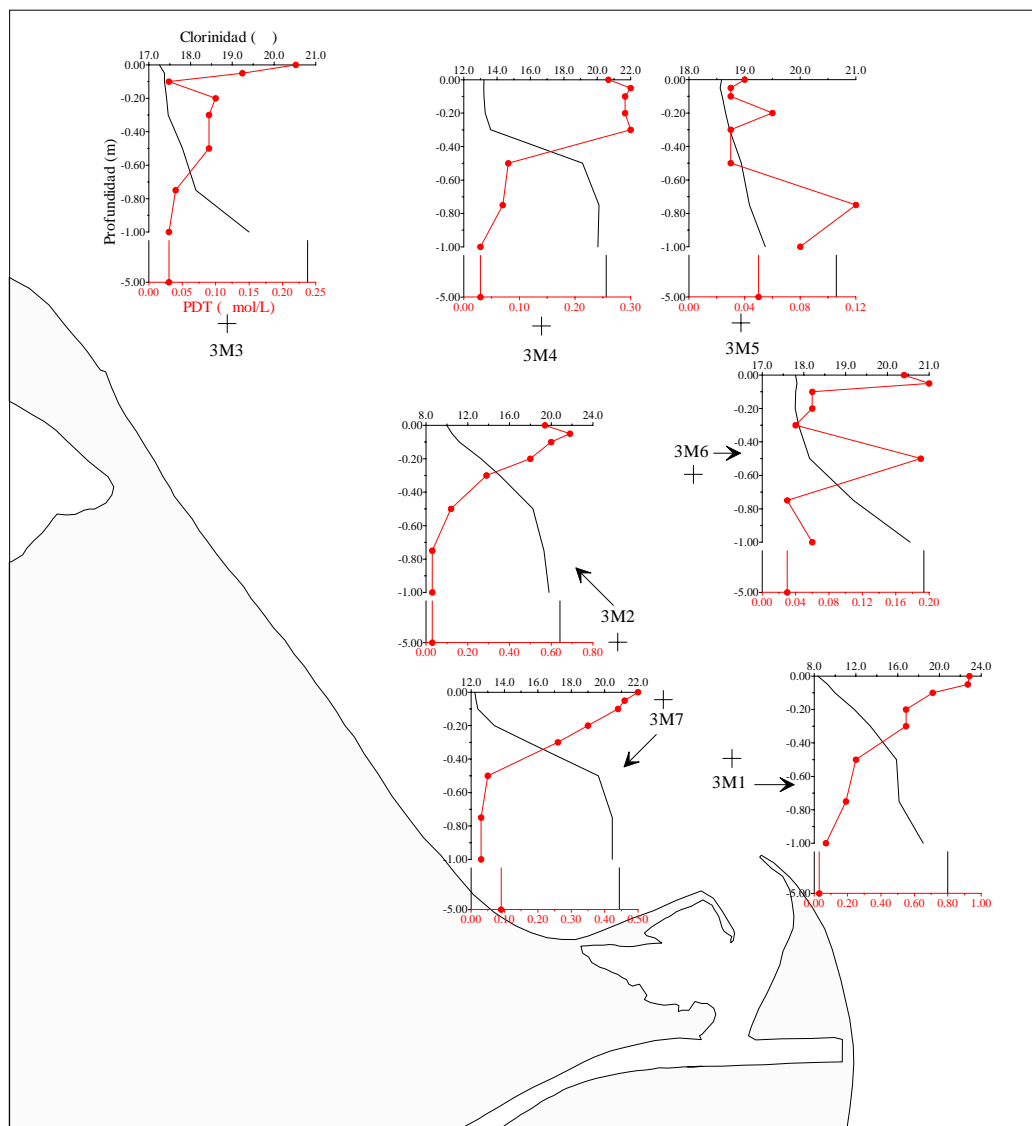


Figura 4.3.34. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 3.

La existencia de estas desviaciones en su concentración a diversas profundidades nos indica que este nutriente no está afectado solamente por la dilución con las aguas salinas menos cargadas de nutrientes, como se muestra en la figura 4.3.35. La concentración disminuye con la clorinidad en todas las estaciones, excepto en 3M5 como luego veremos. En general se observan similares comportamientos que en el PSR, predominando los pérdidas, achacables a la predominancia de la absorción fitoplanctónica.

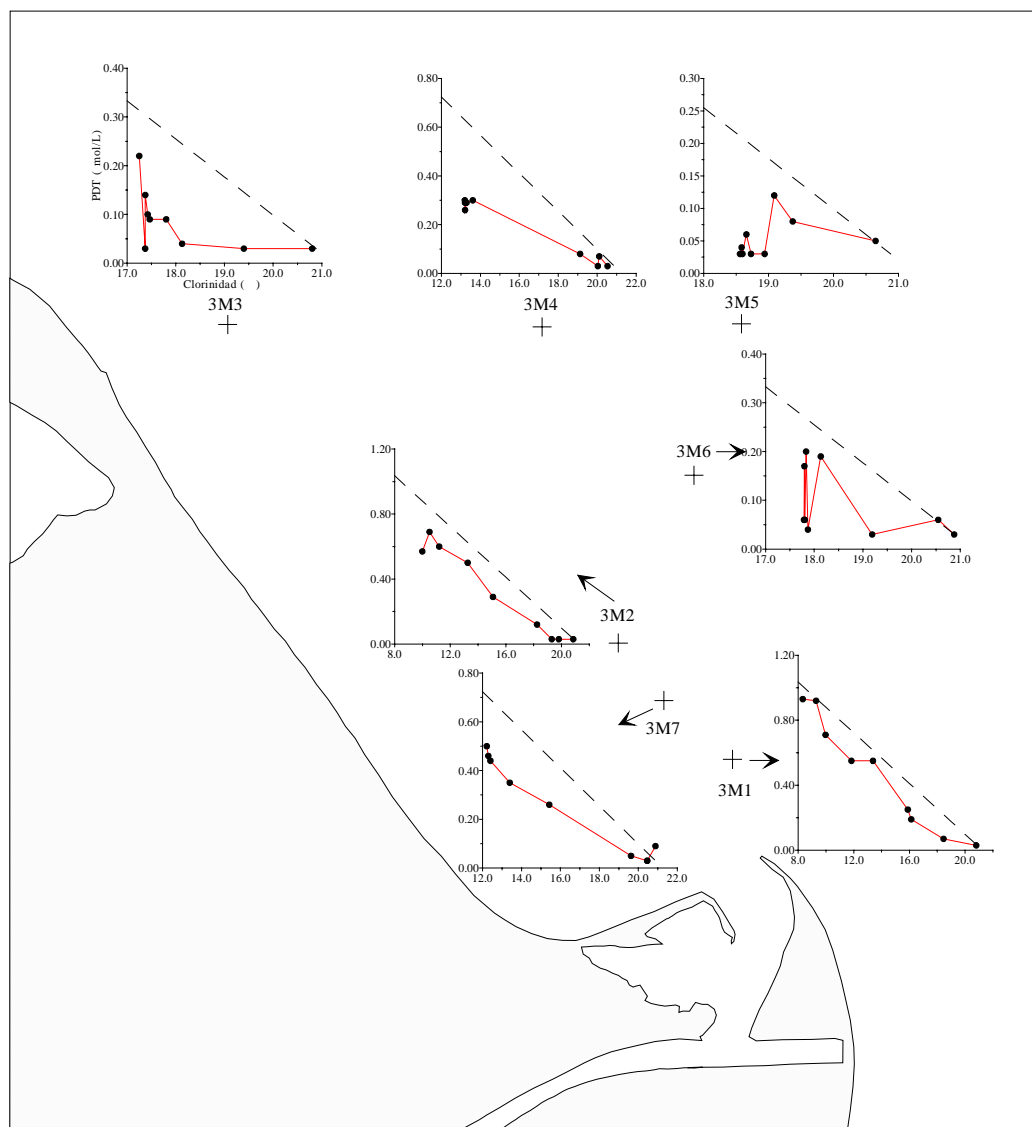


Figura 4.3.35. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

Caso aparte merecen las estaciones 3M6 y 3M5 en las que el PSR estaba cercano al agotamiento en todo el rango de clorinidades. En estas estaciones y también en la parte menos salina de 3M2, las variaciones existentes son debidas a variaciones en las concentraciones de POD.

En la figura 4.3.36 se ha representado el comportamiento global en la pluma estuarina, donde vemos que todas las muestras quedan por debajo de la línea de mezcla ideal, lo que indica un predominio de la absorción fitoplanctónica.

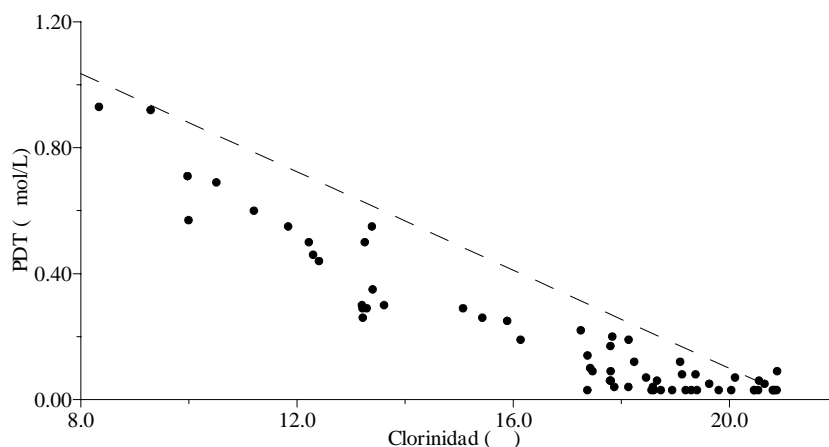


Figura 4.3.36. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 3.

4.3.9.- Fósforo Total (PT)

La concentración de PT posee un rango de variación en este muestreo algo menor al del anterior, desde un máximo de 1.42 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 3M2 a 0.00 m de profundidad, hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ a 1.00 m en 3M7 y 3M4. En la tabla 4.3.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	1.37	-0.10	0.08	-5.0
3M2	1.42	0.00	0.06	-5.0
3M7	1.28	0.00	<0.03	-1.00
3M4	0.89	0.00	<0.03	-1.00
3M3	0.74	-0.75	0.12	-0.50, -5.0
3M6	0.40	-0.10	0.05	-5.0
3M5	0.47	-0.30	0.12	-0.75

Tabla 4.3.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 3

Como era de esperar, los mayores valores de PT se localizan en las estaciones de mayor influencia fluvial, 3M1, 3M2 y 3M7, disminuyendo estas concentraciones conforme lo hace la influencia continental. En la figura 4.3.37 se ha representado la distribución superficial del PT, donde se observa claramente que estas concentraciones van disminuyendo progresivamente al alejarnos de la boca del río Ebro, siguiendo como era de esperar un comportamiento contrario a la clorinidad.

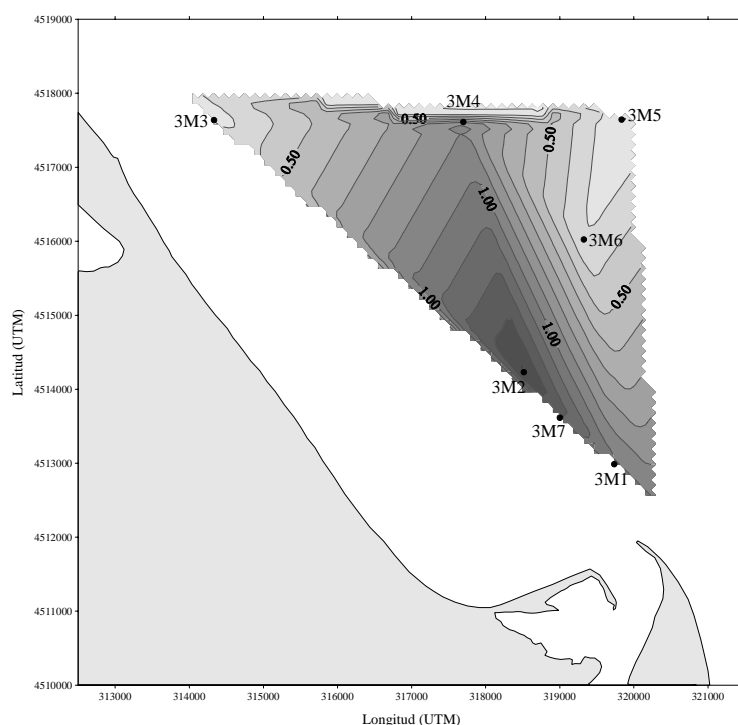


Figura 4.3.37. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 3.

En la figura 4.3.38 se representa la distribución vertical en el transecto formado por las estaciones 3M1, 3M2 y 3M3, donde queda patente la esperada disminución de las concentraciones al aumentar la profundidad, aunque encontramos diversas desviaciones a diferentes profundidades.

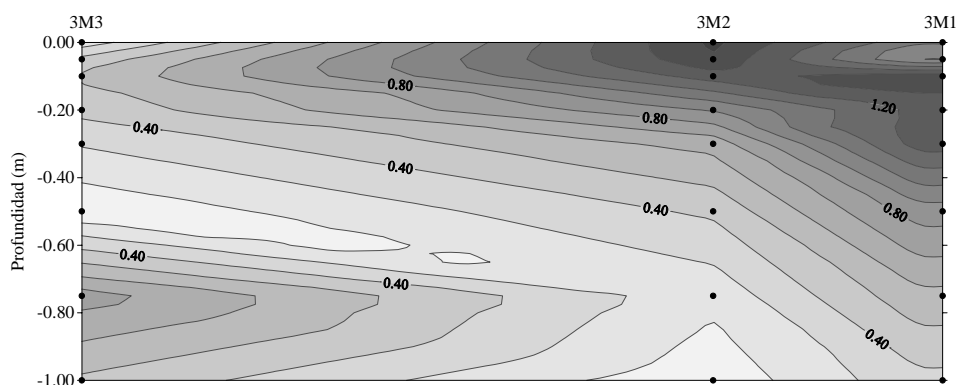


Figura 4.3.38. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

Estas desviaciones de la pauta general se observan claramente en la figura 4.3.39, donde se representa los perfiles verticales obtenidos en cada una de las estaciones. Aunque la pauta general es de disminuir con el aumento de la profundidad, en la mayoría de las estaciones (excepto en 3M2 y 3M7) encontramos desviaciones de diferente magnitud. Algunas de ellas se producen en las capas más superficiales de la columna de agua (3M1, 3M4, 3M3, 3M6 y 3M5 en los 10 cm superiores) y otras a mayor profundidad (3M3 a 0.75 m, 3M6 a 0.50

y 1.00 m y 3M5 a 0.30 y 1.00 m). Recordando que el PT engloba tanto las formas disueltas como particuladas, algunas de estas desviaciones son debidas al PDT (por ejemplo la que se produce en la estación 3M6 a 0.50 m de profundidad) y otras al PP (como en la estación 3M3 a 0.10 m).

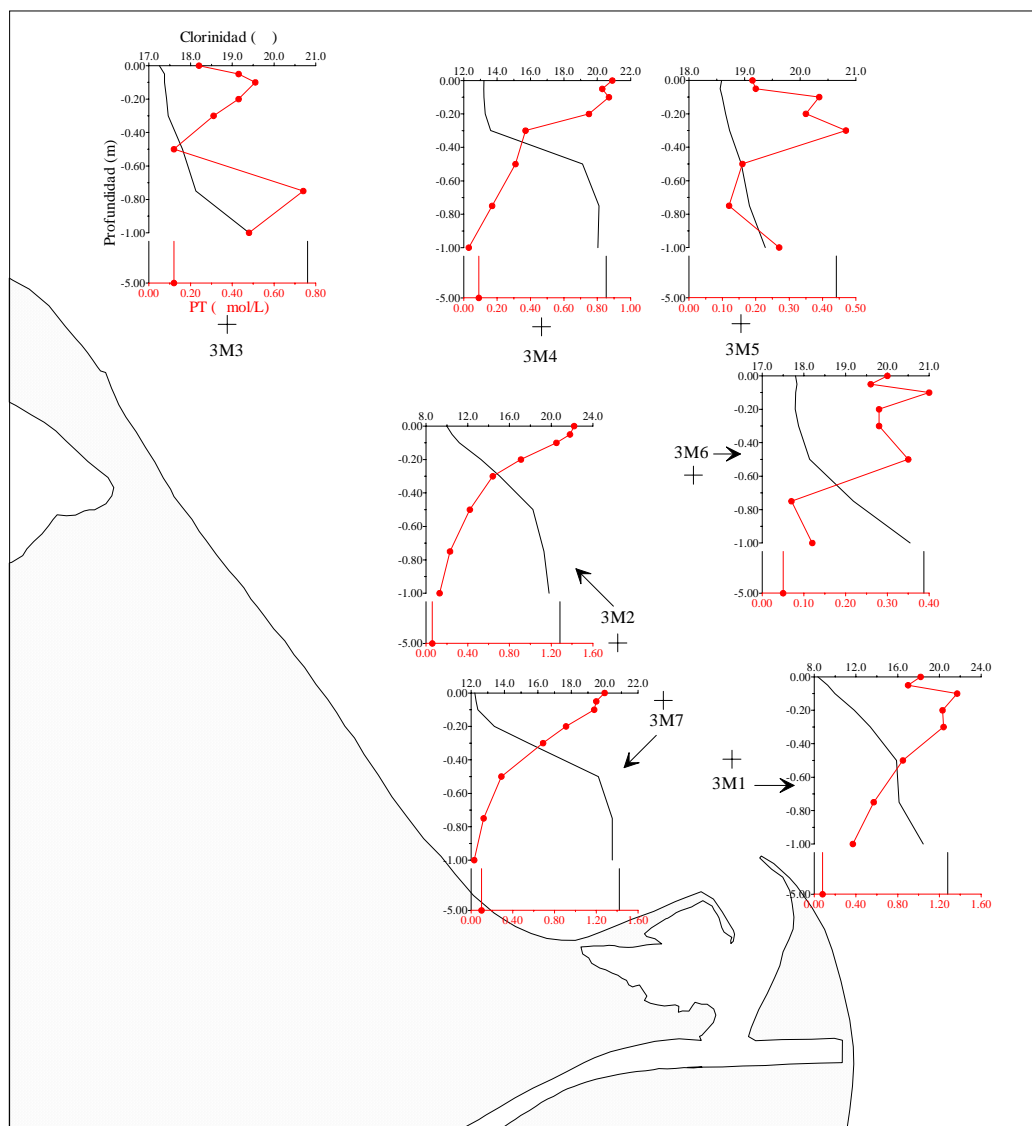


Figura 4.3.39. Perfiles verticales de PT. Muestreo 3.

En la figura 4.3.40 se muestra la variación del PT con la clorinidad, donde vemos que estas concentraciones van en general disminuyendo al aumentar la clorinidad. Pero igual que ocurre con los perfiles mostrados en la figura 4.3.39, se encuentran desviaciones de esta pauta general. Los más llamativos son los que se producen en las capas de agua de menor clorinidad de las estaciones 3M3, 3M6 y 3M5, que como anteriormente comentamos son debidos a aumentos o disminuciones de las concentraciones de PDT y de PP.

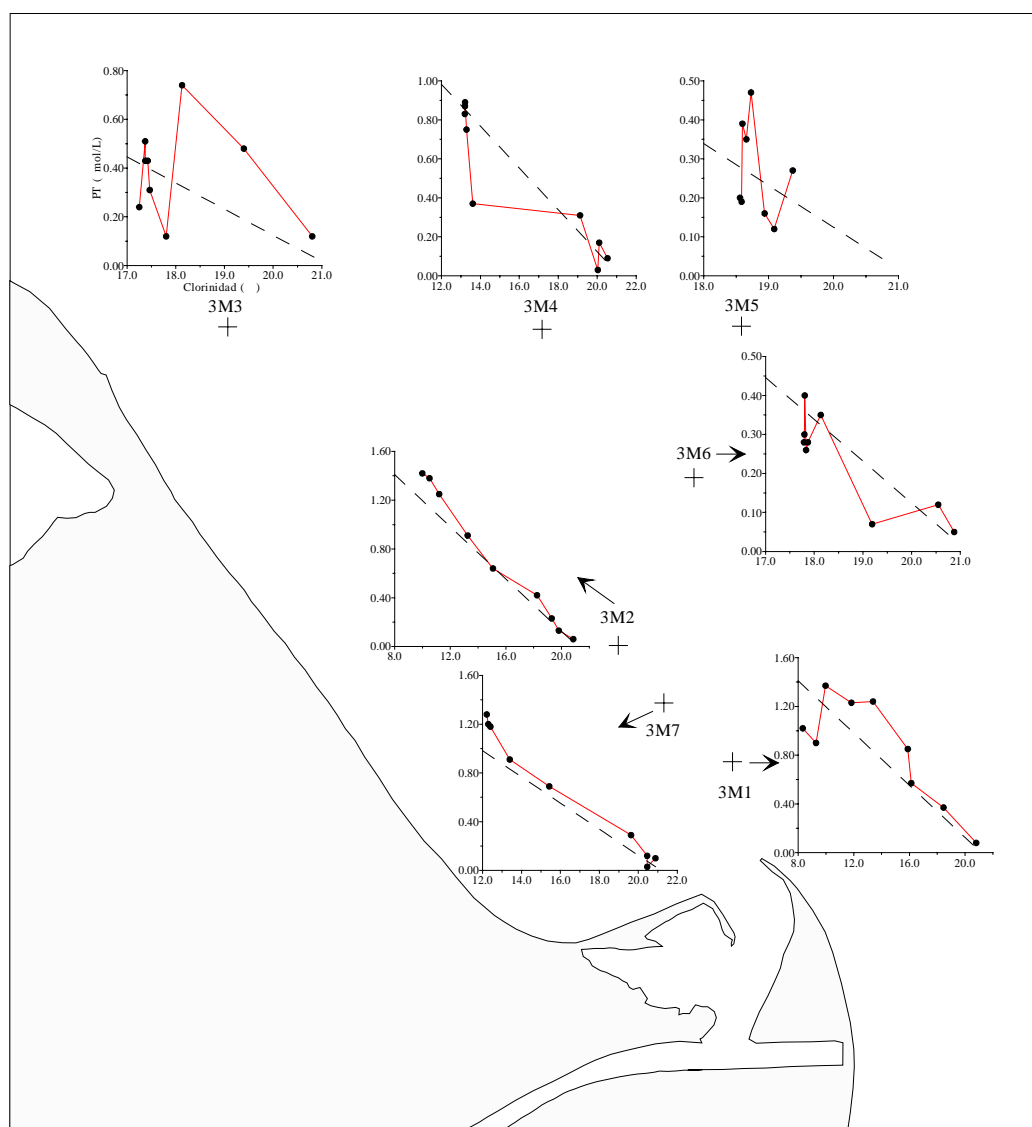


Figura 4.3.40. Variación de la concentración de PT con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

En la figura 4.3.41 se muestra la variación global del PT con la clorinidad en la pluma estuarina.

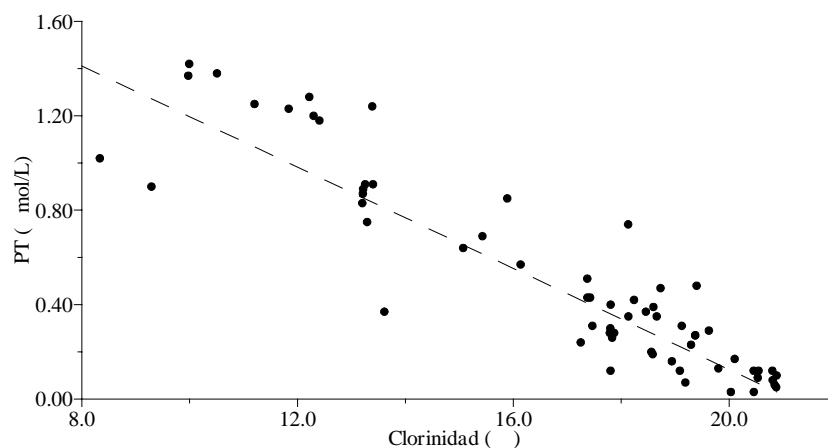


Figura 4.3.41. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 3.

Se observa una disminución gradual al aumentar la clorinidad, aunque con diversos aumentos y disminuciones en todo el rango de clorinidad.

4.3.10.- Ácido Ortosilícico

Como ocurre con las formas de nitrógeno y de fósforo ya comentadas, la concentración de ácido ortosilícico tiene un rango de variación menor al del muestreo anterior, variando desde un máximo de 35.5 $\mu\text{mol/L}$ a 0.00 m de profundidad en la estación 3M1 hasta un mínimo de 0.6 $\mu\text{mol/L}$ en 3M7 a 5.0 m de profundidad. En la tabla 4.3.10 se muestra los valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
3M1	35.5	0.00	0.9	-5.0
3M2	31.5	0.00	1.1	-5.0
3M7	30.5	-0.05	0.6	-5.0
3M4	26.0	-0.30	1.0	-5.0
3M3	12.3	0.00	1.7	-5.0
3M6	9.5	0.00	0.7	-5.0
3M5	6.7	-0.10	0.8	-5.0

Tabla 4.3.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

Como cabía esperar debido a la influencia fluvial, las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de menor clorinidad (3M1, 3M2 y 3M7). Éstas se encuentran a nivel superficial debido a que, como ya se ha comentado en múltiples ocasiones, por la diferencia de densidad el agua dulce/salobre flota sobre la salina. Por la misma razón los menores valores se encuentran a las mayores profundidades, pero al igual que ocurría en el muestreo anterior y al contrario que en el del 6 de abril, el ácido ortosilícico no llega al agotamiento en ninguna de las estaciones, lo que, como ya hemos dicho, nos indica la pobre participación de las diatomeas en la proliferación de fitoplancton. Por todo esto, las concentraciones de este nutriente disminuyen al hacerlo la influencia continental, como se muestra tanto en la distribución horizontal (figura 4.3.42) como en la vertical (figura 4.3.43).

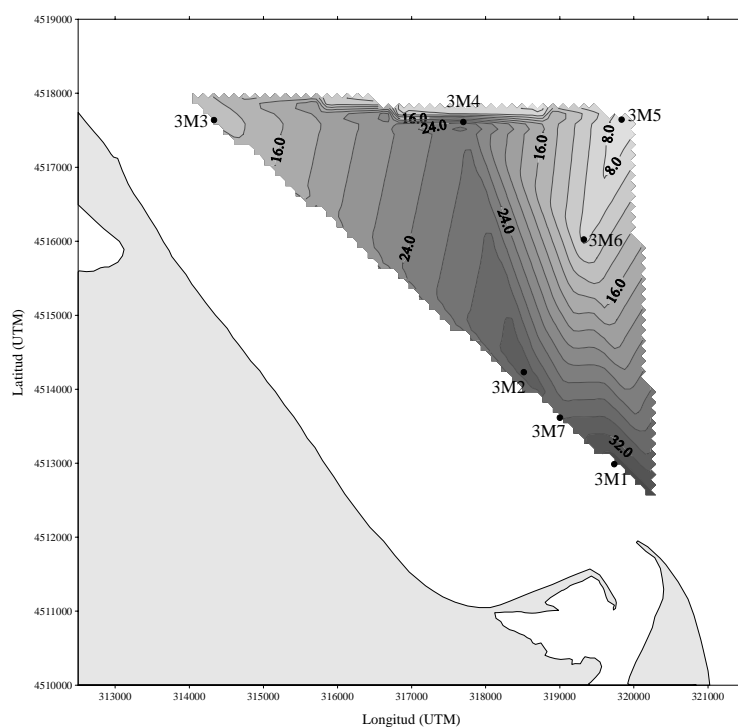


Figura 4.3.42. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 3.

Aquí, y al igual que para los restantes nutrientes, el menor valor encontrado en 3M7 a nivel superficial respecto a 3M2 genera esta distribución algo atípica (figura 4.3.42), lo que nos confirma una vez más las diferentes condiciones hidrodinámicas existentes en ambas estaciones.

La esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad queda patente en la figura 4.3.43, donde se representa la distribución vertical en el transecto 3M1-3M3, aunque se puede apreciar algunas discontinuidades en la estación 3M1.

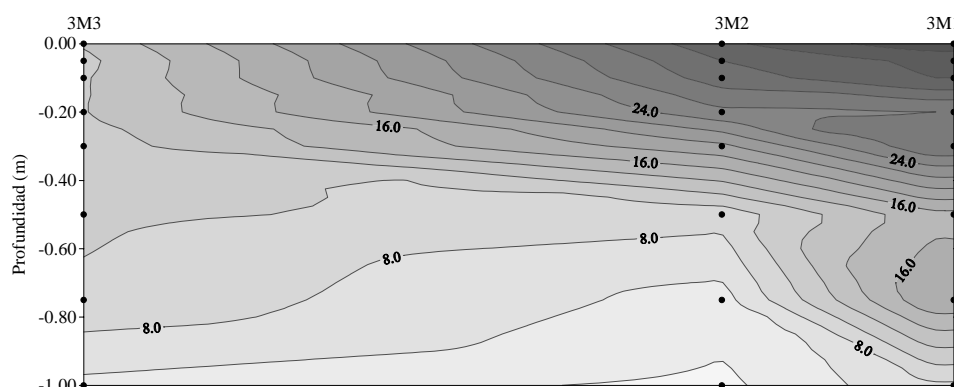


Figura 4.3.43. Distribución espacial de ác.ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

Éstas y algunas otras se observan con mayor precisión en la figura 4.3.44, donde se representa los perfiles encontrados para cada una de las estaciones.

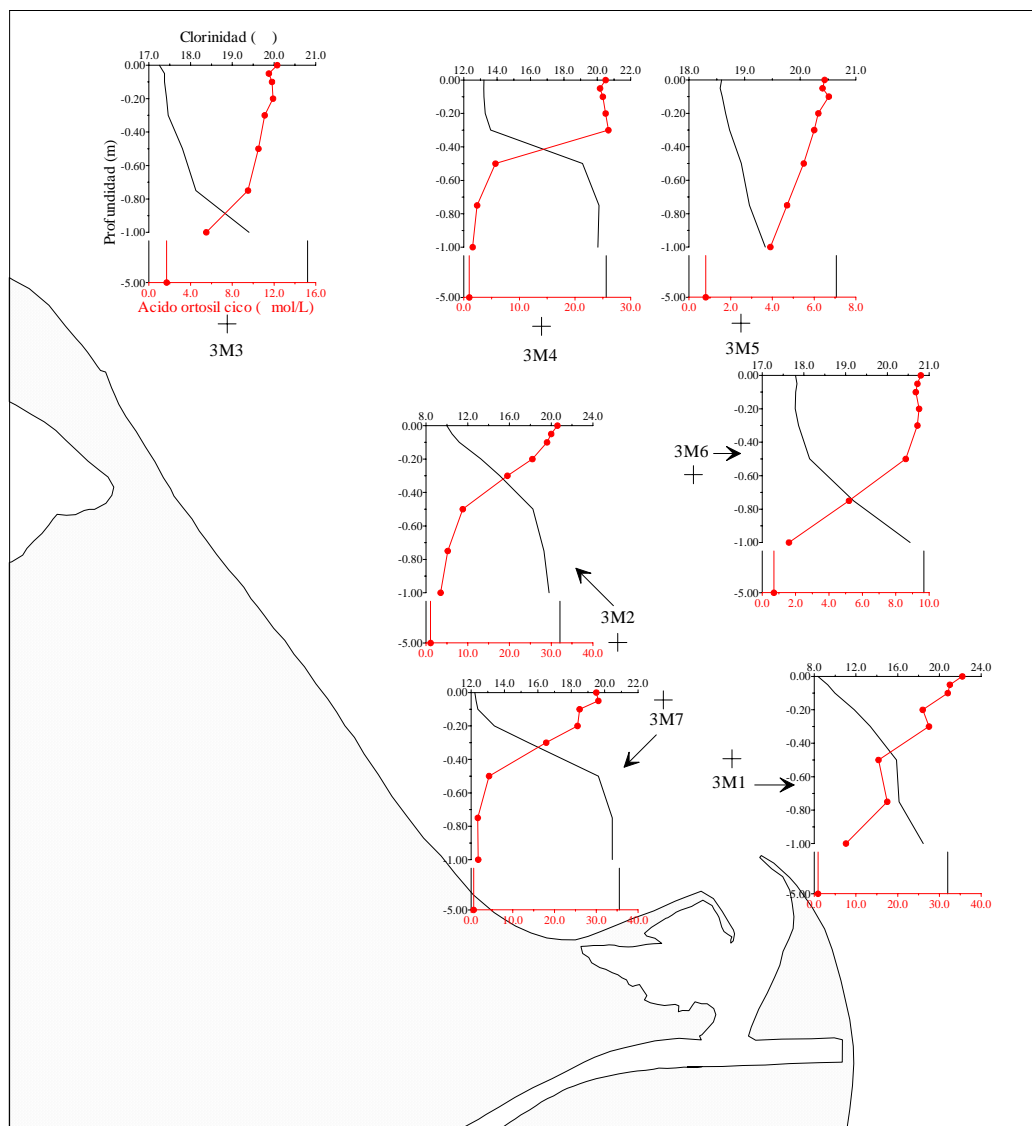


Figura 4.3.44. Perfiles verticales de ácido ortosilícico. Muestreo 3.

Lo primero a resaltar es la forma de estos perfiles, que son aproximadamente una “imagen especular” de los obtenidos para la clorinidad, lo que en principio cabe achacar a que este nutriente se comporta de manera bastante conservativa en la mezcla estuarina, como posteriormente veremos. De todas maneras se aprecian algunas discontinuidades, aunque de pequeña magnitud, en la pauta general de disminución con la profundidad. Éstas se localizan en las capas más superficiales de algunas estaciones (3M7, 3M4, 3M3, 3M6 y 3M5) y a mayor profundidad en 3M1 (0.30 y 0.75 m).

El comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina en cada una de las estaciones se muestra en la figura 4.3.45. En todas las estaciones las concentraciones disminuyen al aumentar la clorinidad, quedando por encima de la

línea de mezcla ideal de origen fluvial. Aunque existen algunos aumentos de pequeña magnitud en algunas estaciones (3M1, 3M2, 3M7, 3M4), en general se puede observar un comportamiento bastante conservativo, si acaso con algunas ganancias no muy elevadas achacables en principio a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas y a la redisolución del material mineral suspendido.

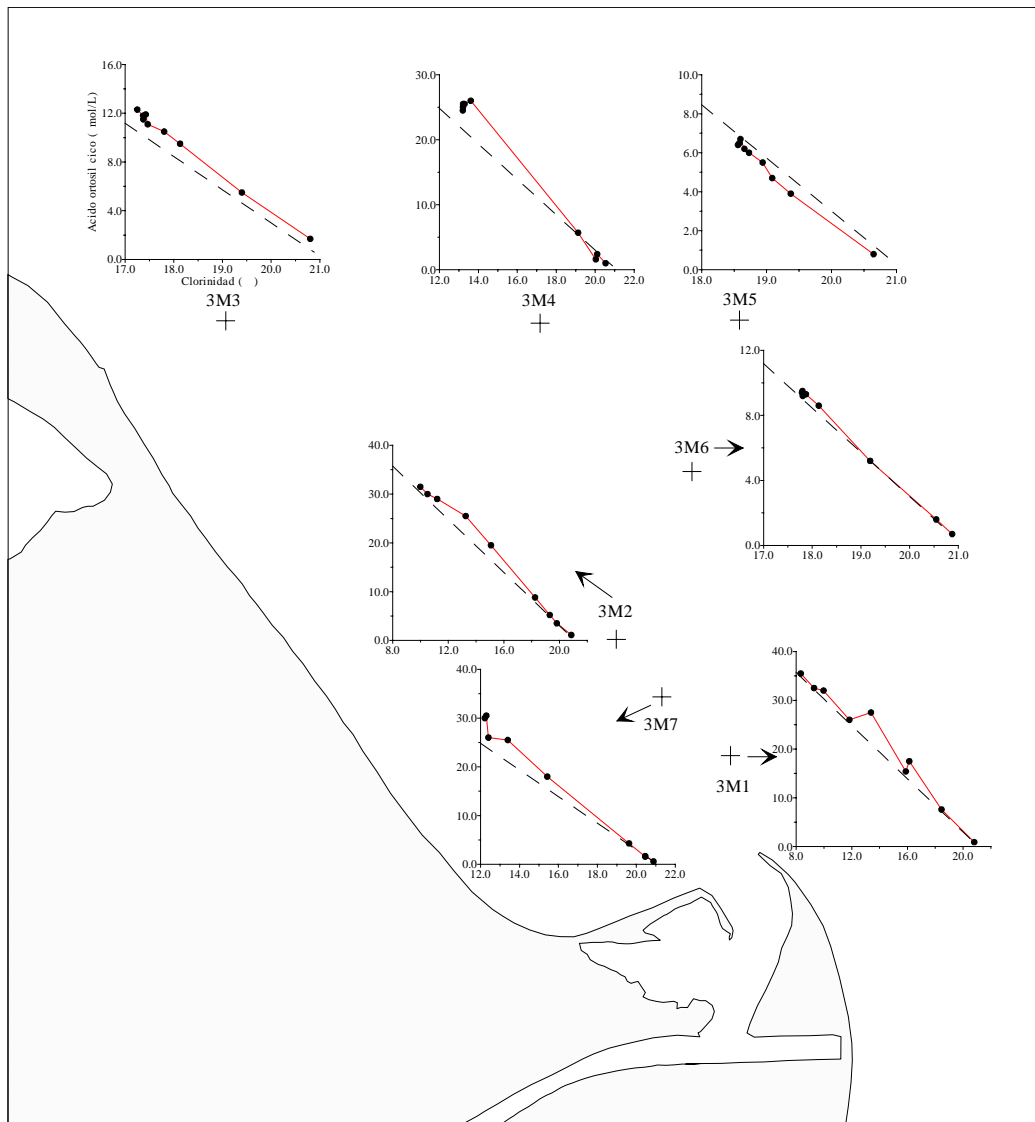


Figura 4.3.45. Comportamiento del ác. ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

En la figura 4.3.46 se muestra el comportamiento global en la pluma estuarina. El ácido ortosilícico se comporta en general de manera bastante conservativa, existiendo algunos pequeños aumentos en el rango de clorinidad de 12 a 16‰, achacables como anteriormente dijimos a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas y a la redisolución del material mineral suspendido. Al igual que ocurría en el muestreo del 10 de julio, las

concentraciones encontradas a mayor clorinidad, que no son valores cercanos al agotamiento, nos lleva a pensar que no existe una floración significativamente importante de diatomeas como ocurría en el muestreo del 6 de abril.

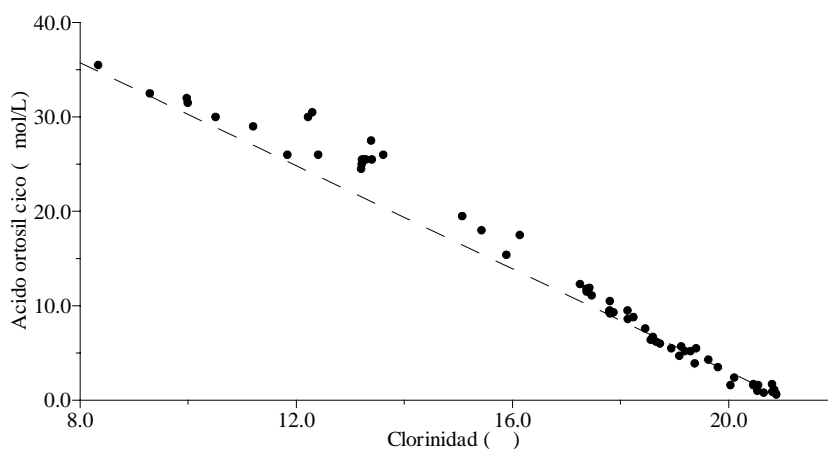


Figura 4.3.46. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 3.

4.3.11.- Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* posee un rango de variación algo mayor al del muestreo anterior, desde un valor máximo de 24.27 $\mu\text{g/L}$ a la profundidad de 0.30 m en la estación 3M1 hasta un mínimo inferior al límite de detección del método analítico (0.20 $\mu\text{g/L}$) a 5.0 m en todas las estaciones, excepto en 3M3. En la tabla 4.3.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila *a* encontrados para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)
3M1	24.27	-0.30	<0.20	-5.0
3M2	10.05	-0.05	<0.20	-5.0
3M7	5.86	-0.05	<0.20	-5.0
3M4	5.01	-0.10	<0.20	-5.0
3M3	2.47	-0.10	0.41	-5.0
3M6	2.57	-0.20	<0.20	-5.0
3M5	3.00	-0.10	<0.20	-5.0

Tabla 4.3.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

De nuevo las mayores concentraciones de clorofila *a* se localizan en las estaciones de mayor influencia continental (3M1 y 3M2). Éstas van disminuyendo al aumentar la clorinidad y por tanto disminuir la influencia fluvial y el aporte de

nutrientes que ello conlleva, como queda patente en la figura 4.3.47. Al igual que ocurría con la clorinidad y con los nutrientes, el menor valor encontrado en 3M7 interfiere de alguna manera en esta distribución horizontal.

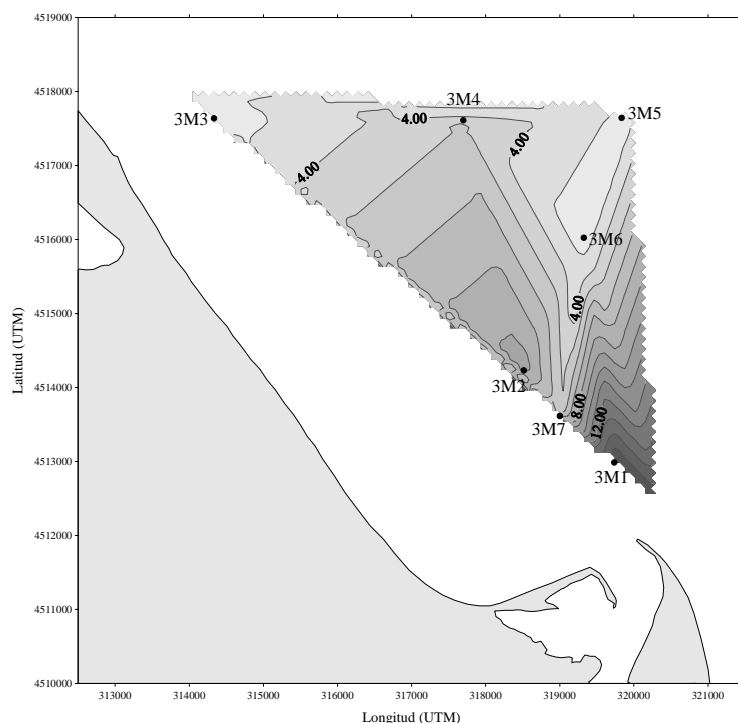


Figura 4.3.47. Distribución superficial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$). Muestreo 3.

La esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad se observa en la figura 4.3.48, aunque se encuentran algunas desviaciones de esta pauta en alguna estación (3M1).

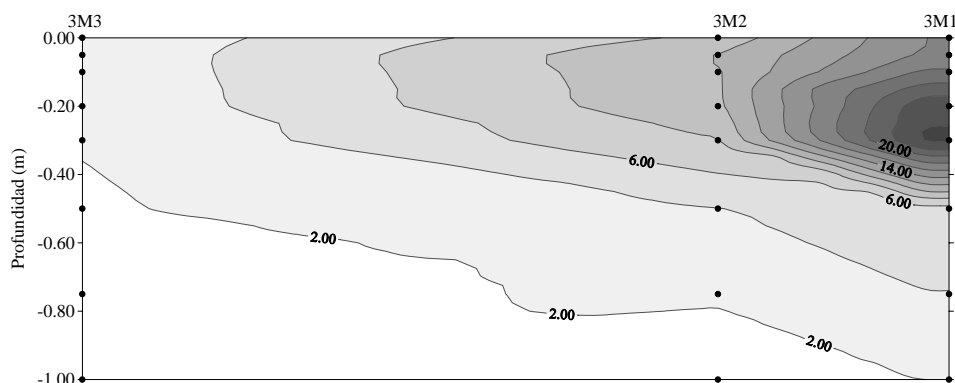


Figura 4.3.48. Distribución espacial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 3M1-3M3.

Estas desviaciones quedan más claras en la figura 4.3.49 donde se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones. Aunque las concentraciones de clorofila *a* en superficie son mayores que las de 5.0 m de profundidad, en ninguna de las estaciones los máximos se localizan a 0.00 m. De hecho en todas ellas los mayores valores se encuentran en las capas

subsuperficiales como ya se mostró en la tabla 4.3.11. Parece pues que el fitoplancton o bien tiende a concentrarse (o a crecer mejor) en estas zonas subsuperficiales por ser menor el efecto dañino de la radiación ultravioleta o la cuota celular de clorofila *a* es menor en las zonas más iluminadas.

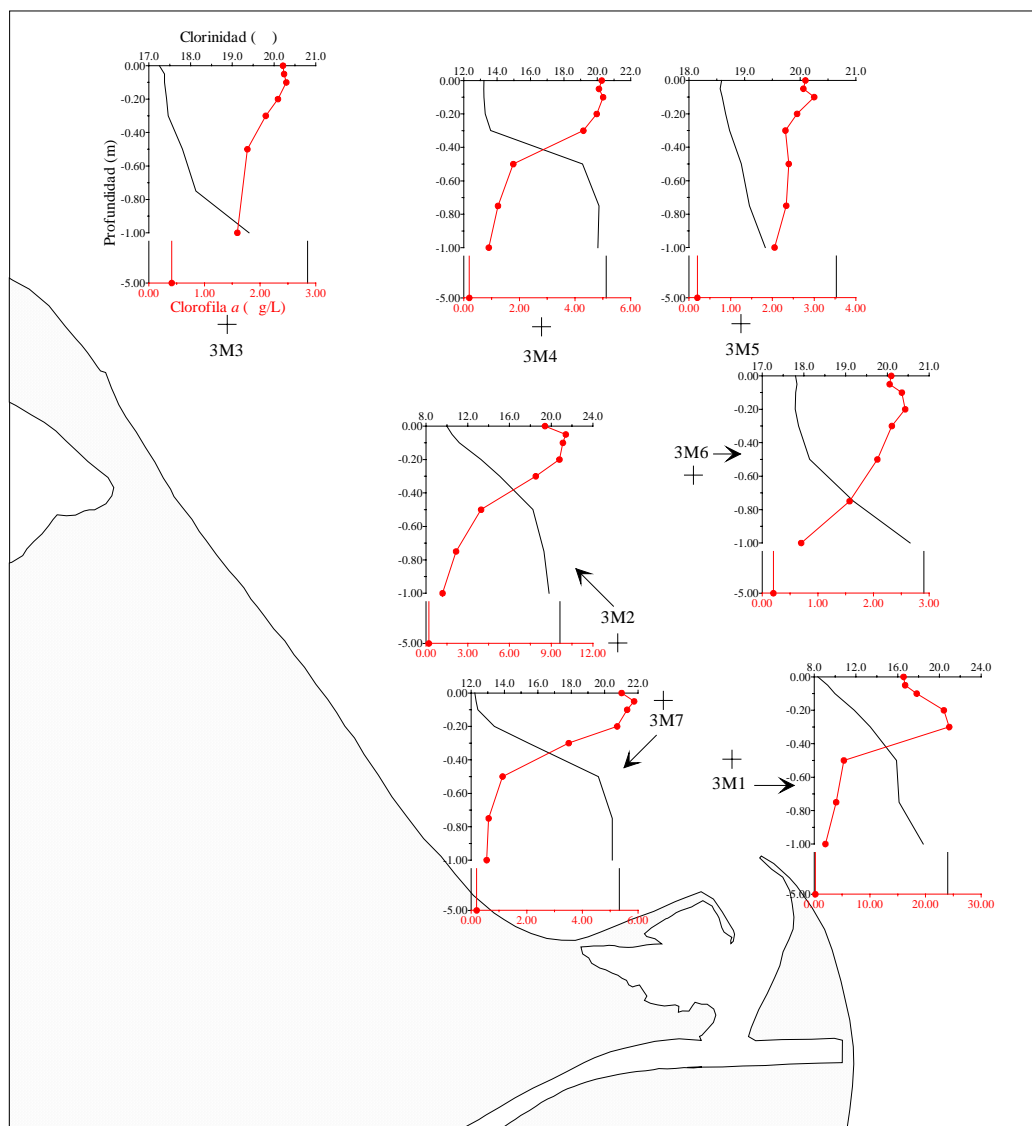


Figura 4.3.49. Perfiles verticales de clorofila *a*. Muestreo 3.

En la figura 4.3.50 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones. Al igual que ocurre en otros muestreos, en todas las estaciones las concentraciones de clorofila *a* disminuyen al aumentar la clorinidad, pero con algunas desviaciones de esta pauta general.

- En las estaciones de mayor influencia fluvial, se encuentran algunas diferencias, pues mientras en 3M7 la clorofila disminuye linealmente con la clorinidad, en 3M1 y 3M2 se observa un aumento de concentración debido a un mayor desarrollo de la comunidad fitoplanctónica.

- En el resto de estaciones que poseen menor influencia continental, la concentración disminuye casi linealmente con la clorinidad, exceptuando algunos pequeños picos en alguna estación (3M5), indicando que la concentración de clorofila *a* va disminuyendo en principio por la sola dilución de las aguas dulces/salobres con las más salinas de menor concentración.

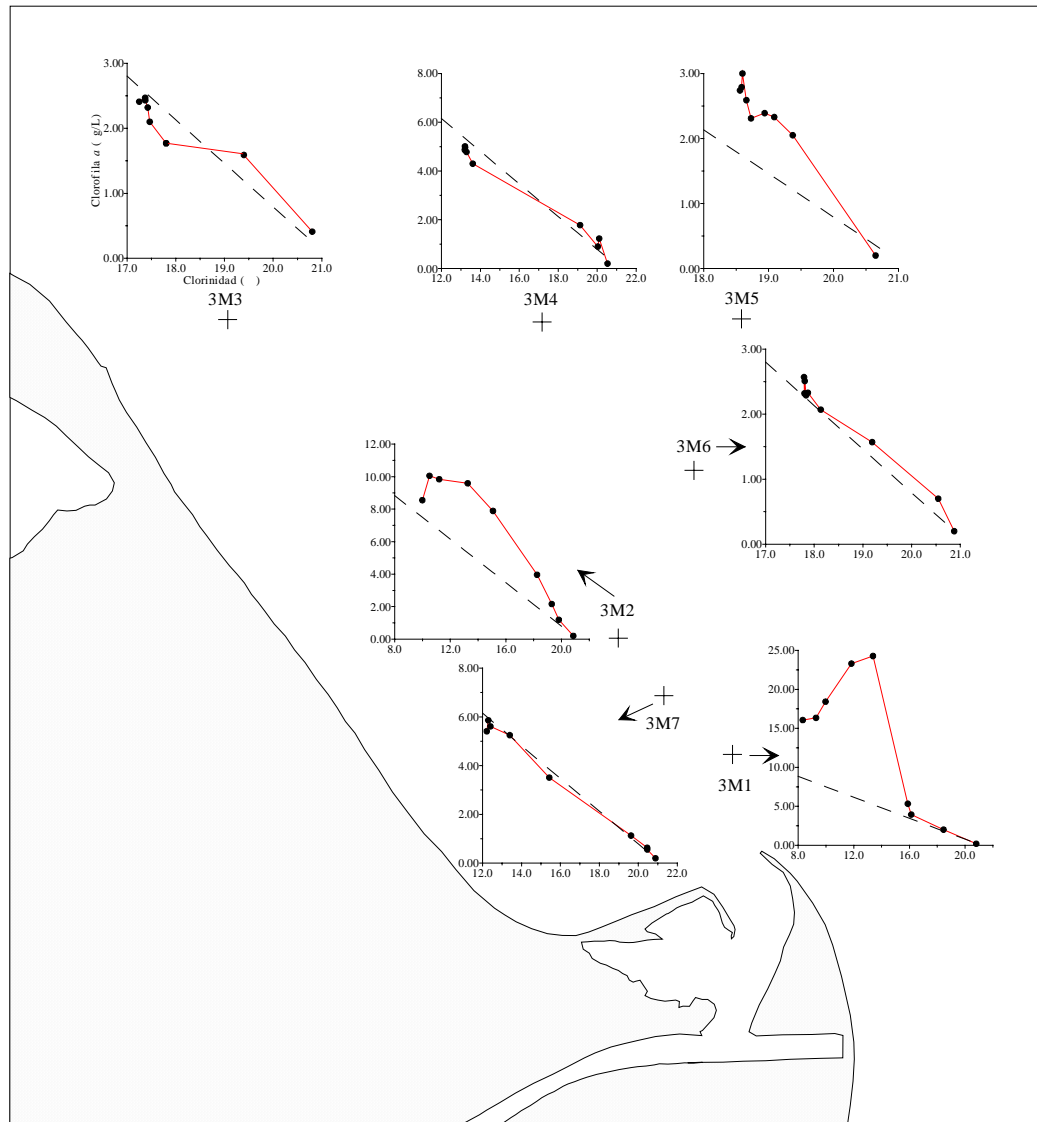


Figura 4.3.50. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 3.

Como se muestra en la figura 4.3.51, en todo el cuerpo de la pluma la concentración de clorofila *a* disminuye al aumentar la clorinidad, exceptuando las muestras a menor clorinidad (hasta 16‰) donde la concentración es mayor de lo que sería de esperar por la simple disminución del número de células fitoplanctónicas de origen fluvial al aumentar la clorinidad, y que son las existentes en las estaciones 3M1 y 3M2.

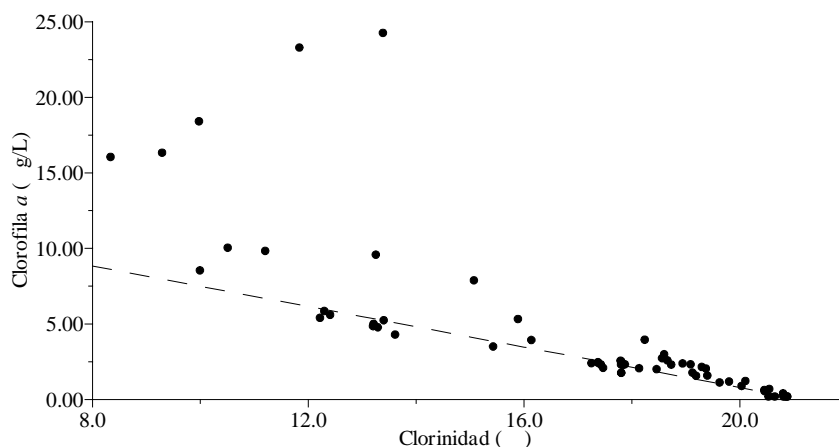


Figura 4.3.51. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 3.

4.3.12.- Relaciones entre nutrientes

a) NID/PSR

La relación NID/PSR varía desde un máximo superior a 840.0 localizado en la estación 3M3 a 0.05 m de profundidad, hasta un mínimo superior a 50.0 en 3M7 a 0.75 y 5.0 m. Este rango de variación es similar al encontrado en el muestreo anterior, aunque el mínimo es algo mayor que el del 10 de julio. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.3.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
3M1	538.6	-0.50	>86.7	-5.0
3M2	>450.0	-0.50	>66.7	-5.0
3M7	287.7	-0.20	>50.0	-0.75, -5.0
3M4	382.5	-0.10	>53.3	-5.0
3M3	>840.0	-0.05	>63.3	-5.0
3M6	>703.3	0.00	>60.0	-1.00
3M5	>506.7	-0.10	>63.3	-5.0

Tabla 4.3.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

Al igual que ocurría en los muestreos anteriores, los valores mínimos se suelen localizar a las mayores profundidades. Sin embargo, los máximos lo hacen en superficie en las estaciones de menor influencia fluvial (3M4, 3M3, 3M6 y 3M7) y a profundidad media en las de mayor (3M1, 3M2 y 3M7).

En la figura 4.3.52 se representa los perfiles de esta relación para cada una de las estaciones. En ella se observa diferentes pautas entre estaciones, encontrando picos a diferentes profundidades.

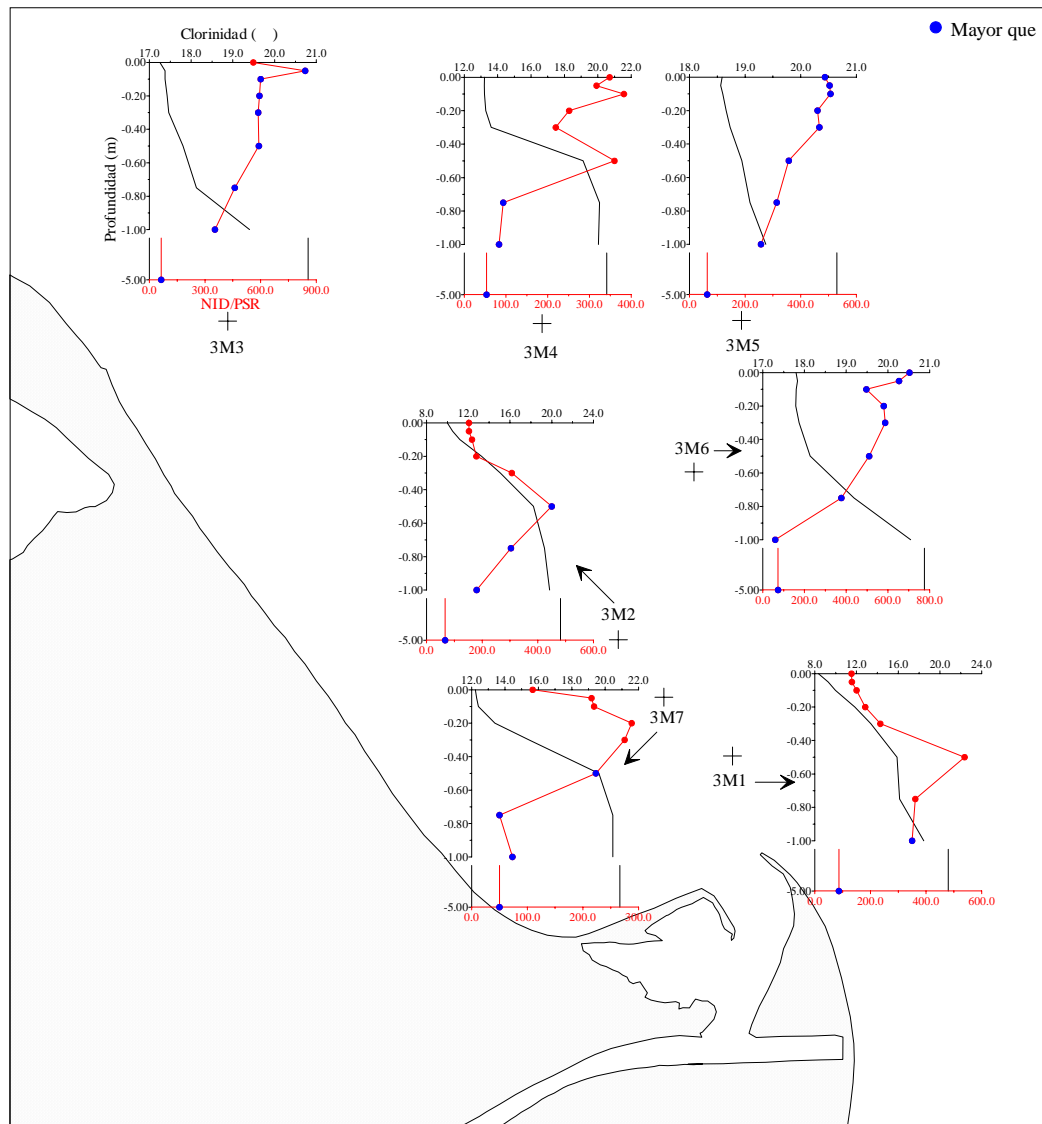


Figura 4.3.52. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 3.

En las estaciones de mayor influencia fluvial, 3M1, 3M2 y 3M7, se produce un aumento con la profundidad hasta llegar a unos máximos localizados entre 0.20 y 0.50 m, disminuyendo posteriormente hasta un mínimo a 5.0 m. Sin embargo en el resto de estaciones esta relación disminuye con la profundidad de manera más gradual, encontrando sin embargo algunos picos a diferentes profundidades, por ejemplo a 0.50 m en 3M4.

Al igual que en los muestreos anteriores, estas desviaciones dependen de los valores de NID y PSR. Son de destacar los numerosos valores que son “mayores

que” debido a los bajos niveles de PSR encontrados en este muestreo, llegando a límites cercanos al agotamiento. Pero al contrario de lo que ocurría en el muestreo del 10 de julio, si nos fijamos en los perfiles encontrados en el NID (figura 4.3.25) y en el PSR (figura 4.3.29), comprobamos que los de esta relación no guardan casi similitud con ellos. Solamente los perfiles de NID/PSR de las estaciones 3M3, 3M6 y 3M5 son similares a los del NID debido a que en éstas los valores de PSR son casi todos menores de $0.03 \mu\text{mol/L}$.

La variación global de esta relación con la clorinidad se muestra en la figura 4.3.53. Los valores de NID/PSR van aumentando al hacerlo la clorinidad hasta un valor aproximado de 17‰, debido a que aunque el NID y el PSR van disminuyendo, las pérdidas en el PSR son más llamativas. A partir de esta clorinidad, los valores de esta relación van disminuyendo al tener el PSR un valor constante menor de $0.03 \mu\text{mol/L}$, lo que hace que influya más los valores del NID.

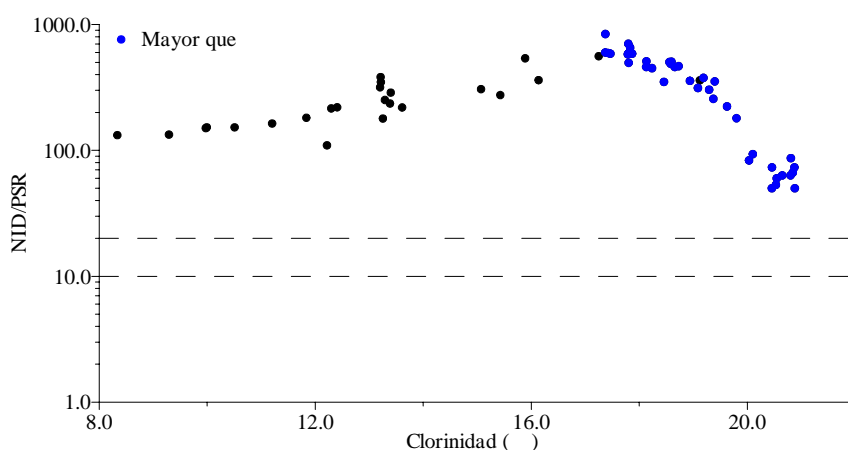


Figura 4.3.53. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 3.

Se ha de destacar que al igual que ocurría en el resto de los muestreos ya comentados, los valores de esta relación son mayores de 20 debido a las bajas concentraciones de PSR encontradas, por lo que del mismo modo podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante.

b) NID/Ácido ortosilícico

La relación NID/ácido ortosilícico varía desde un máximo de 3.1, localizado en la estación 3M6 a 5.0 m de profundidad hasta un mínimo de 0.9 en 3M7 a 0.75

m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.3.13.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
3M1	2.9	-5.0	1.4	-0.75, -1.00
3M2	2.5	0.00	1.5	-0.50, -1.00
3M7	2.5	-5.0	0.9	-0.75
3M4	1.9	-0.50	1.2	-0.75
3M3	2.3	0.00	1.1	-5.0
3M6	3.1	-5.0	1.1	-1.00
3M5	2.4	-0.05, -5.0	1.9	-0.50

Tabla 4.3.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

Como se observa en la tabla 4.3.13 y en la figura 4.3.54, no parece existir una pauta general con la profundidad, pues en algunas estaciones los máximos se localizan a nivel superficial (3M2, 3M3) y en otras a nivel profundo (3M1, 3M7, 3M6). Lo mismo ocurre con los mínimos, encontrándose generalmente a partir de una profundidad de 0.50 m pero sin ninguna pauta clara. Esto es debido al rango de variación tan estrecho de esta relación, que provoca que cualquier mínimo cambio tenga una gran repercusión en sus perfiles.

En esta figura 4.3.54 se observa que estos perfiles son bastante diferentes a los encontrados para el NID (figura 4.3.25) y para el ácido ortosilícico (figura 4.3.44), aunque hasta una profundidad aproximada de 0.30 m éstos son bastante similares a los del NID, con alguna excepción como la estación 3M1. Esto es debido a que hasta esta profundidad, el ácido ortosilícico permanece aproximadamente constante, variando en mayor medida el NID. En cambio, a partir de esta profundidad, el ácido ortosilícico comienza a disminuir gradualmente, provocando que los valores de NID/ácido ortosilícico se vean afectados ya por ambos nutrientes.

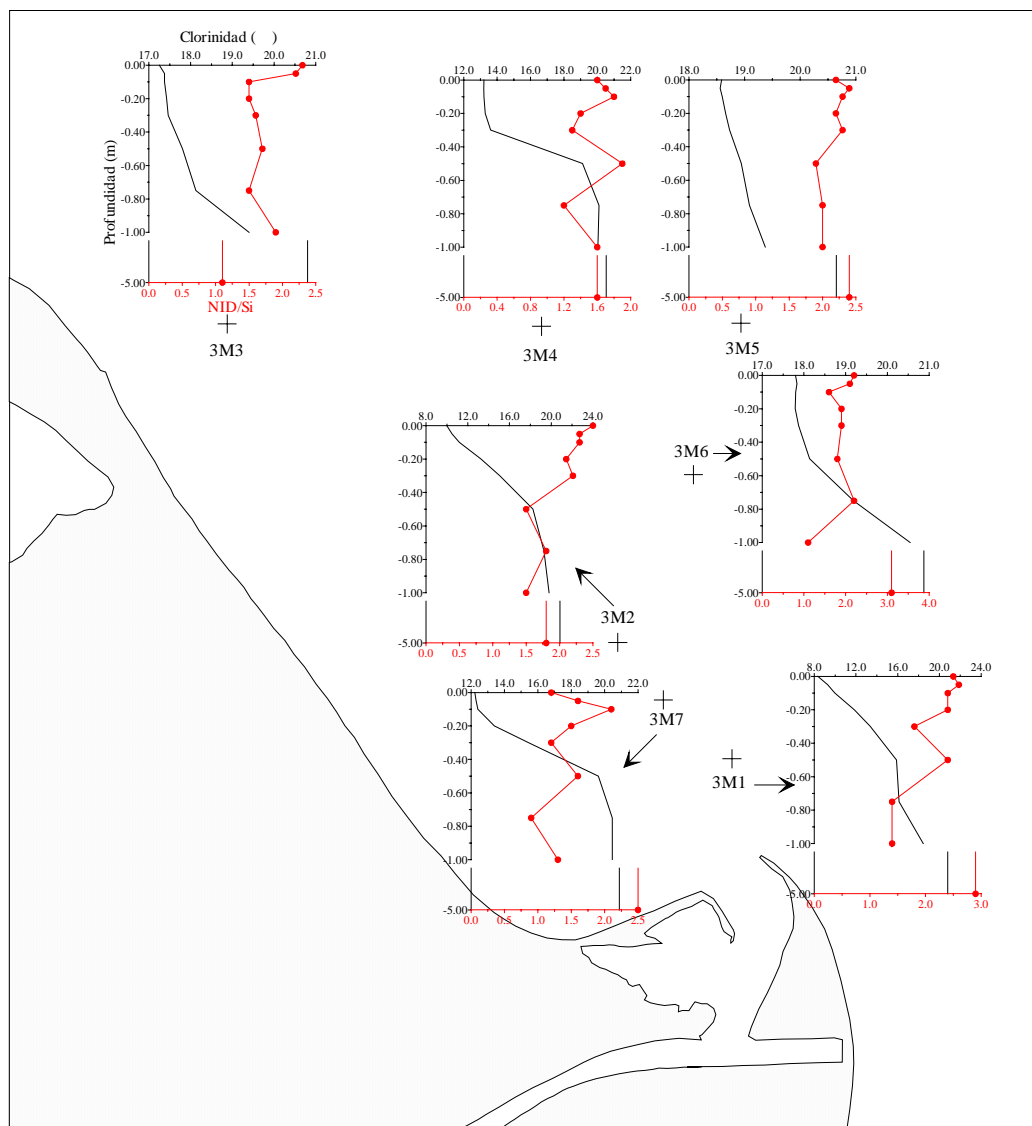


Figura 4.3.54. Perfiles verticales de NID/ácido ortosilícico. Muestreo 3.

En la figura 4.3.55 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad, donde se observa que, al igual que ocurría en el muestreo anterior del 10 de julio, en todo el rango de clorinidades se mantiene aproximadamente constante en torno a 2-3. Todos los valores son mayores de 1, excepto una muestra que se corresponde con la estación 3M7 a 0.75 m, lo que nos lleva a concluir que será realmente muy difícil que el nitrógeno en forma de NID pueda llegar a limitar el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas en estas condiciones.

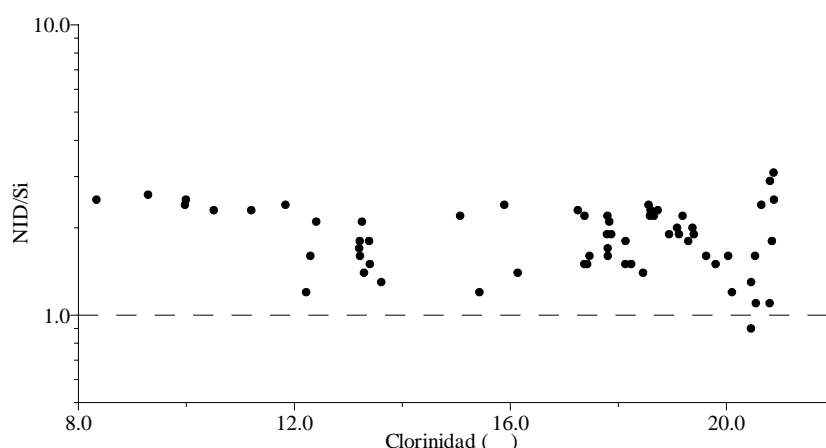


Figura 4.3.55. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 3.

4.3.13.- Tratamiento estadístico

El análisis factorial realizado sobre las 9 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*, genera una matriz de correlación anti-imagen mostrada en la tabla 4.3.14 que nos indica que todas las variables son idóneas para el tratamiento estadístico.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	4.582E-03	-8.765E-03	-2.479E-03	6.656E-03	4.548E-03	-1.381E-03	1.428E-03	4.634E-03	-5.823E-03
	Amonio	-8.765E-03	0.413	4.975E-02	-2.644E-02	7.450E-03	-1.454E-02	-4.475E-02	-1.792E-02	2.853E-02
	Nitrito	-2.479E-03	4.975E-02	2.204E-02	-3.265E-03	-5.928E-03	-5.846E-03	-1.943E-02	-6.358E-03	8.990E-03
	Nitrato	6.656E-03	-2.644E-02	-3.265E-03	2.044E-02	-3.263E-03	-3.435E-03	7.714E-04	5.329E-03	-2.027E-02
	PSR	4.548E-03	7.450E-03	-5.928E-03	-3.263E-03	4.861E-02	-2.581E-02	-3.688E-03	7.445E-03	1.743E-02
	PDT	-1.381E-03	-1.454E-02	-5.846E-03	-3.435E-03	-2.581E-02	3.204E-02	1.402E-02	-1.889E-03	-3.238E-02
	PT	1.428E-03	-4.475E-02	-1.943E-02	7.714E-04	-3.688E-03	1.402E-02	0.138	6.392E-04	-4.964E-02
	Ác. ortosil	4.634E-03	-1.792E-02	-6.358E-03	5.329E-03	7.445E-03	-1.889E-03	6.392E-04	5.983E-03	-3.451E-03
	Clorofila	-5.823E-03	2.853E-02	8.990E-03	-2.027E-02	1.743E-02	-3.238E-02	-4.964E-02	-3.451E-03	0.247
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.809</u>	-0.201	-0.247	0.688	0.305	-0.114	5.688E-02	0.885	-0.173
	Amonio	-0.201	<u>0.807</u>	0.522	-0.288	5.258E-02	-0.126	-0.188	-0.361	8.922E-02
	Nitrito	-0.247	0.522	<u>0.875</u>	-0.154	-0.181	-0.220	-0.353	-0.554	0.122
	Nitrato	0.688	-0.288	-0.154	<u>0.873</u>	-0.104	-0.134	1.455E-02	0.482	-0.285
	PSR	0.305	5.258E-02	-0.181	-0.104	<u>0.877</u>	-0.654	-4.510E-02	0.437	0.159
	PDT	-0.114	-0.126	-0.220	-0.134	-0.654	<u>0.895</u>	0.211	-0.136	-0.364
	PT	5.688E-02	-0.188	-0.353	1.455E-02	-4.510E-02	0.211	<u>0.951</u>	2.228E-02	-0.269
	Ác. ortosil	0.885	-0.361	-0.554	0.482	0.437	-0.136	2.228E-02	<u>0.786</u>	-8.968E-02
	Clorofila	-0.173	8.922E-02	0.122	-0.285	0.159	-0.364	-0.269	-8.968E-02	<u>0.925</u>

Tabla 4.3.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 3.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.865, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Meritorio”.

Este análisis nos reduce estas 9 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 84.435% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.3.15. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.599	84.435	84.435
2	0.655	7.280	91.716
3	0.330	3.667	95.383
4	0.230	2.556	97.939
5	0.105	1.166	99.105
6	4.000E-02	0.444	99.550
7	2.137E-02	0.237	99.787
8	1.662E-02	0.185	99.972
9	2.534E-03	2.815E-02	100.000

Tabla 4.3.15. Varianza total explicada.

La matriz del único componente extraído se muestra en la tabla 4.3.16. Al igual que ocurre en el muestreo anterior los aportes continentales juegan un papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados están íntimamente relacionados con la clorinidad. Como era de esperar, los nutrientes y la clorofila poseen una pauta contraria a la de la clorinidad, teniendo ésta un signo contrario a las restantes.

	Componente 1
Clorinidad	-0.983
Amonio	0.636
Nitrato	0.971
Nitrato	0.983
PSR	0.928
PDT	0.969
PT	0.925
Ácido ortosili.	0.969
Clorofila	0.853

Tabla 4.3.16. Matriz de componentes para el muestreo 3.

4.4.- Muestreo 4 (8 octubre 1999)

4.4.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

En este muestreo, realizado el 8 de octubre de 1999, entre las 09:30 y las 14:45 horas (GMT) aproximadamente, se recogieron 64 muestras repartidas entre 7 estaciones. Según los datos proporcionados por la Generalitat de Catalunya, la temperatura media ambiental en la zona estuvo comprendida entre los 10-15 °C de mínima y los 20-24 °C de máxima. Pudieron observarse pequeñas variaciones en las condiciones meteorológicas durante las horas de muestreo. Los datos provenientes de las estaciones meteorológicas de L'Ampolla y de Sant Carles de la Ràpita se representan en la figura 4.4.1, incluyendo la dirección y velocidad del viento predominante durante las horas en las que se realizó el muestreo.

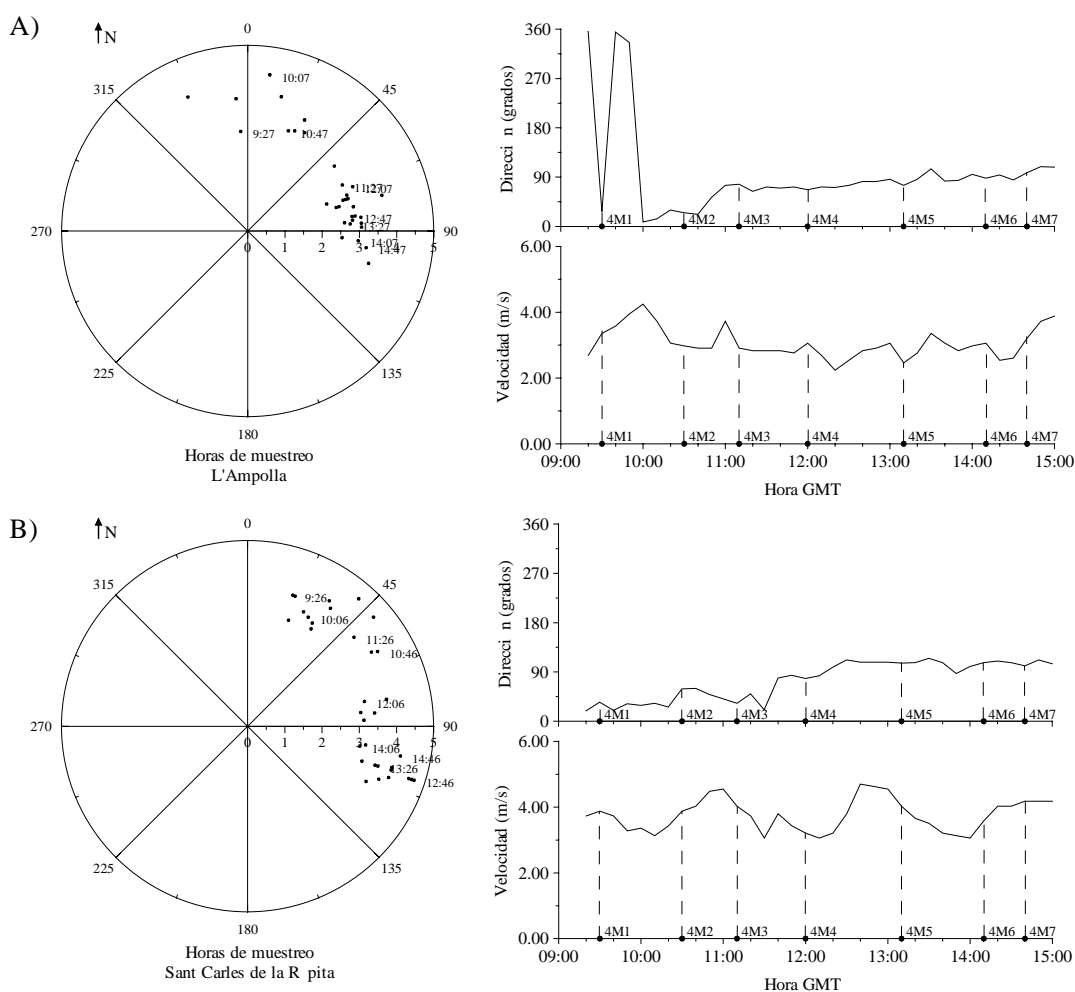


Figura 4.4.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 4.
A) L'Ampolla, B) Sant Carles de la Ràpita.

Para ambas estaciones meteorológicas, podemos comprobar que existe una dispersión en los datos. La dirección media del viento en la estación de L'Ampolla fue de 93.9 grados, con un rango de variación aproximado desde 0.0 hasta 109.0 grados. En la estación de Sant Carles de la Ràpita la dirección media fue de 73.1 grados, oscilando entre 19.0 y 115.0 grados. La velocidad del viento varió entre 2.24 y 4.25 m/s con un promedio de 3.04 m/s para la estación de L'Ampolla, y entre 3.06 y 4.70 m/s con un promedio de 3.73 m/s para la estación de Sant Carles de la Ràpita. La dirección varió a lo largo del muestreo, a primeras horas y coincidiendo con los muestreos realizados en las estaciones 4M1 y 4M2, el viento varió su dirección del norte al noreste, respectivamente. En cambio, durante los muestreos realizados en el resto de estaciones el viento se mantuvo soplando desde el este. Al contrario, no se observó una variación importante en cuanto a la velocidad del viento, siendo durante todo el muestreo muy débil.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar por las mareas astronómicas y el oleaje, medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla, que puede verse en la figura 4.4.2, posee el mismo rango de variación que en los muestreos anteriores. La diferencia de altura máxima encontrada fue de 12.3 cm, por lo que al igual que en los muestreos anteriores consideraremos que las corrientes mareales y el oleaje no tienen gran importancia en este muestreo.

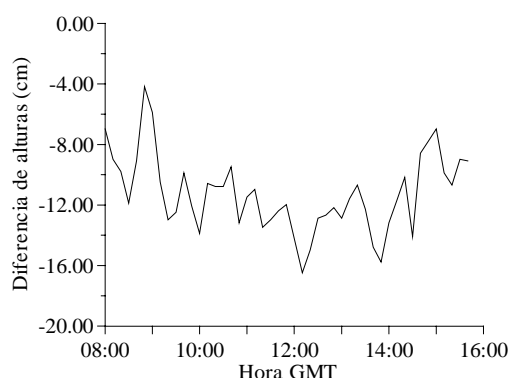


Figura 4.4.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 4.

b.2) Caudales del río Ebro

En la figura 4.4.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo, con los

datos procedentes de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en Tortosa. Igual que ocurría en los muestreos anteriores, los caudales máximos horarios se localizan en las horas de mayor gasto hidroeléctrico, a primeras horas de la mañana y de la noche. De todas maneras, como ya comentamos anteriormente, los caudales medidos en Tortosa no nos son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura.

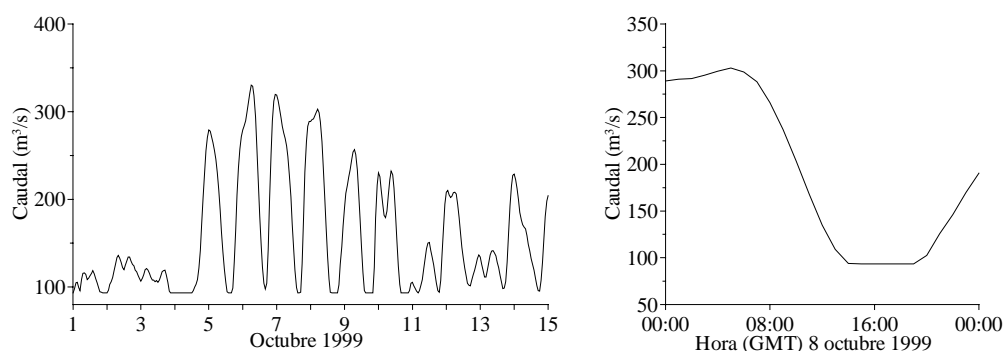


Figura 4.4.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 4.

b.3) Corrientes

En la figura 4.4.4 se ha representado el perfil de velocidades obtenido por el correntímetro ADP para la estación más cercana a la desembocadura, 4M1.

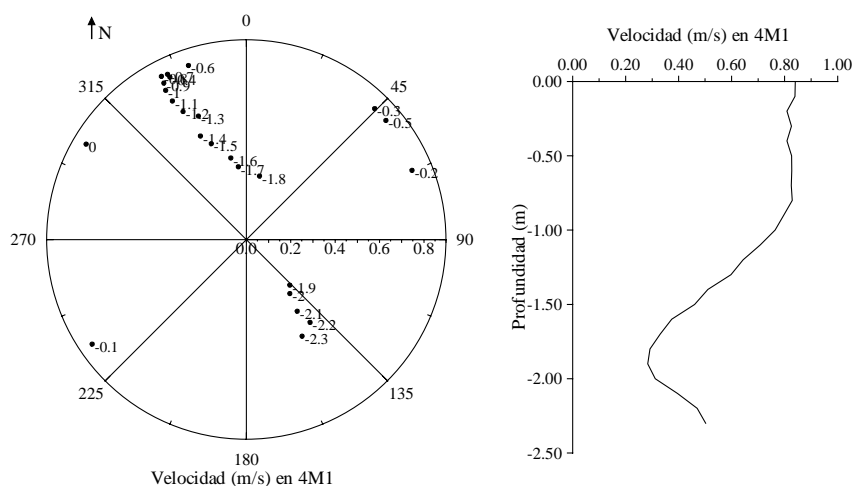


Figura 4.4.4. Dirección (grados) y velocidad (m/s) de la corriente proporcionado por el ADP, en la estación 4M1.

Podemos comprobar que la velocidad va disminuyendo conforme aumenta la profundidad, alcanzándose un mínimo a una profundidad aproximada de 1.9 m, y volviendo a aumentar de nuevo al hacerlo la profundidad. Del mismo modo, podemos comprobar que se produce un cambio drástico de dirección a dicha profundidad. Si despreciamos los puntos a menor profundidad (0.0-0.5 m),

observamos que hasta una profundidad de 1.8 m, la corriente sigue una dirección noroeste, cambiando posteriormente hacia el sudeste. Este cambio de dirección es debido a que, como ya apuntamos anteriormente, en la capa más superficial es más importante el flujo natural del río Ebro, mientras que al aumentar la profundidad toman más fuerza las corrientes propias del mar.

4.4.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

En esta campaña también se realizó una medida previa de la conductividad para situar las diferentes estaciones de muestreo, aunque estos datos no fueron anotados. Con el CTD Seabird solamente se realizaron las medidas de temperatura y conductividad/salinidad en las estaciones 4M1, 4M2, 4M3 y 4M5, pero las grandes variaciones obtenidas con este dispositivo de medida, sobre todo en la capa de agua más superficial, nos obliga a omitir los valores tanto de temperatura como de conductividad. Solamente se representan en la figura 4.4.5 los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 7 estaciones mediante el SWAS, datos que pueden observarse en la Tabla A.9 del Anexo.

a) Temperatura

Como ya hemos indicado, debido a la gran variación obtenida en los valores más superficiales y a que tampoco se pudo realizar medidas en todas las estaciones, los resultados de la temperatura obtenida con el CTD Seabird no se van a estudiar.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

En la figura 4.4.5 se observa los valores provenientes de la toma de muestras mediante el SWAS, que nos aportan una gran precisión en la capa de agua más superficial.

En la tabla 4.4.1 se han especificado los valores máximos y mínimos de clorinidad (‰) de las muestras de agua recogidas a distintas profundidades en cada una de las estaciones.

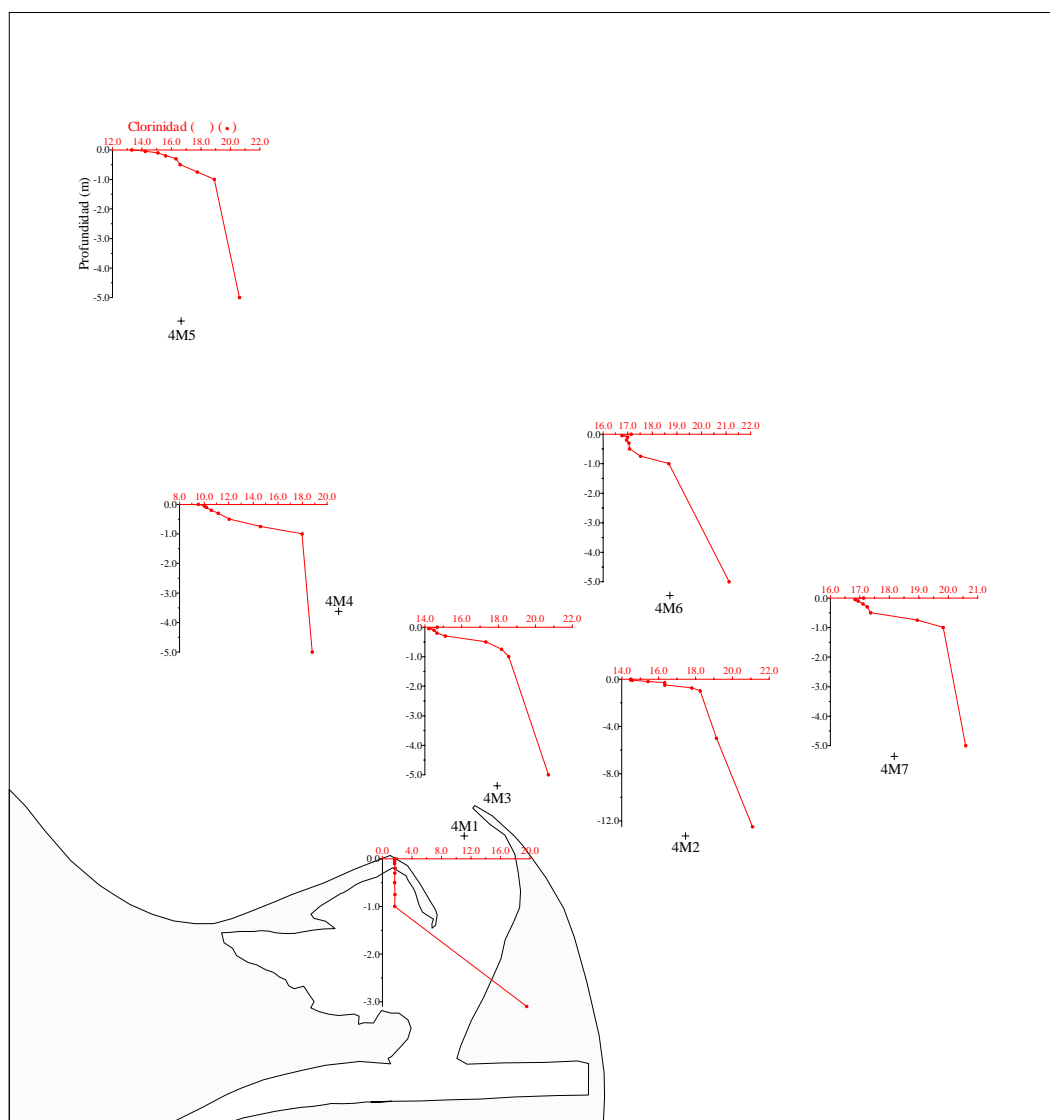


Figura 4.4.5. Perfiles de clorinidad (‰) (•) de las muestras de agua para el muestreo 4.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
4M1	19.559	-3.1	1.641	-0.05
4M4	18.792	-5.0	9.520	0.00
4M5	20.614	-5.0	13.307	0.00
4M3	20.702	-5.0	14.222	-0.05
4M2	21.088	-12.5	14.470	-0.05
4M6	21.119	-5.0	16.765	-0.05
4M7	20.590	-5.0	16.838	-0.05

Tabla 4.4.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 4.

De nuevo, y como era de esperar por la diferencia de densidad, los máximos se localizan a las mayores profundidades en todas las estaciones y los mínimos en la capa más superficial de la columna de agua.

Como se observa en esta tabla 4.4.1, los valores de clorinidad superficial van variando entre las estaciones, desde 4M1 hasta 4M7. En la distribución espacial de la clorinidad cabe resaltar:

- La mayor influencia continental, al margen de 4M1, se da en 4M4 (situada al noroeste de la boca), e incluso 4M5 tiene valores superficiales menores que las restantes estaciones.
- Las estaciones 4M3, 4M2, 4M6 y 4M7 (situadas al norte-noreste de la boca) tienen valores superficiales por encima de 14‰ y además en todas ellas el valor más superficial es más alto que el del punto inmediato subyacente.

Esta distribución espacial es, una vez más, un fiel reflejo de las condiciones hidrodinámicas generadas por los vientos locales. Los vientos del este-noreste desplazan la pluma hacia el noroeste (de ahí los valores más reducidos en 4M4 y 4M5), y en cambio, aunque débiles, introducen aguas marinas en las capas más superficiales de 4M3, 4M2, 4M6 y 4M7 de ahí los valores más altos en estas estaciones en superficie. De hecho el cambio en la dirección del viento se produjo entre los muestreos en 4M1 y 4M2, y en esta estación el arrastre de las aguas superficiales marinas del este acababa de iniciarse por lo que la influencia de éstas es muy reducida.

En la figura 4.4.5 se observa el esperado aumento de la clorinidad con la profundidad. En todas las estaciones los cambios más drásticos se producen en el primer metro de la columna. Es de resaltar la casi constancia de la clorinidad en la estación 4M1 en este primer metro de agua, lo que induce a pensar en la poca mezcla que se produce entre el agua dulce/salobre del río con la más salina del mar.

En la figura 4.4.6 se ha representado el corte vertical del transecto formado por las estaciones 4M5, 4M4, 4M3 y 4M2, donde se observa que la clorinidad aumenta al hacerlo la profundidad y al alejarnos de la desembocadura.

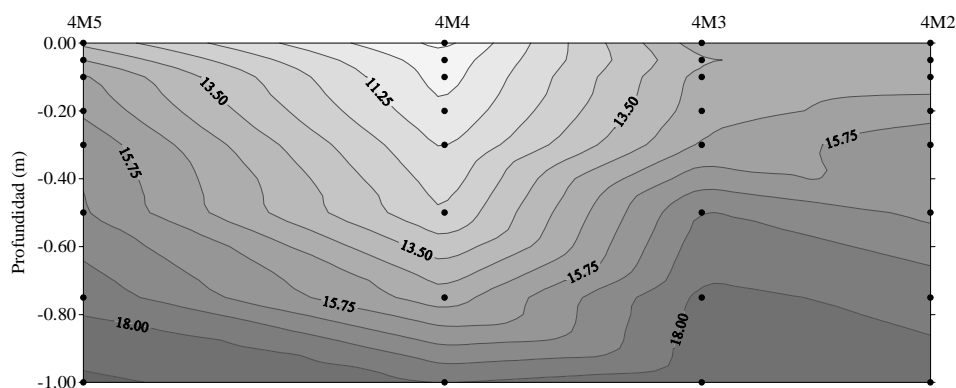


Figura 4.4.6. Perfil vertical de clorinidad (‰) del transecto 4M5-4M2 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

Se observa que la pluma se desplaza hacia la estación 4M5 como anteriormente comentamos por el efecto del viento. Lo mismo se observa en la figura 4.4.7, donde se representa un corte horizontal de la clorinidad (‰) para la capa de agua superficial (0.00 m) para todas las estaciones de muestreo. Como en anteriores muestreos, la clorinidad aumenta al alejarnos de la desembocadura del río Ebro.

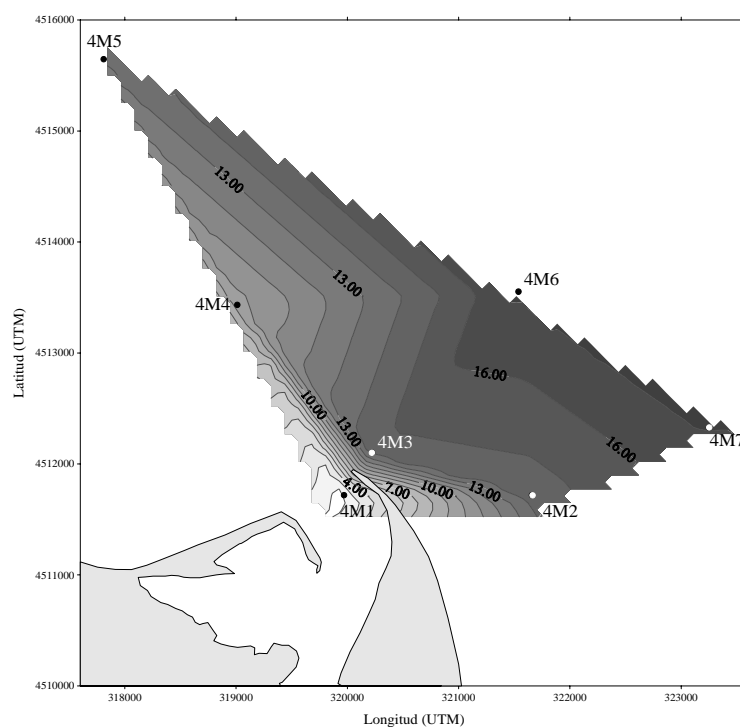


Figura 4.4.7. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a 0.00 m para las 7 estaciones del muestreo 4.

Las distribuciones horizontales a todas las profundidades se representan en la figura 4.4.8, donde la de 5.0 m posee escala diferente. Las distribuciones en los 50 cm superiores de la columna de agua son muy similares, encontrando solamente diferencias en las mayores profundidades. En todas ellas se encuentra

un aumento de la clorinidad conforme nos vamos alejando de la boca del río Ebro, pero con ciertos detalles, pues por ejemplo a todas las profundidades en 4M4 se encuentra una menor clorinidad que en 4M3 aunque ésta esté más cercana a la desembocadura, por las razones ya apuntadas anteriormente.

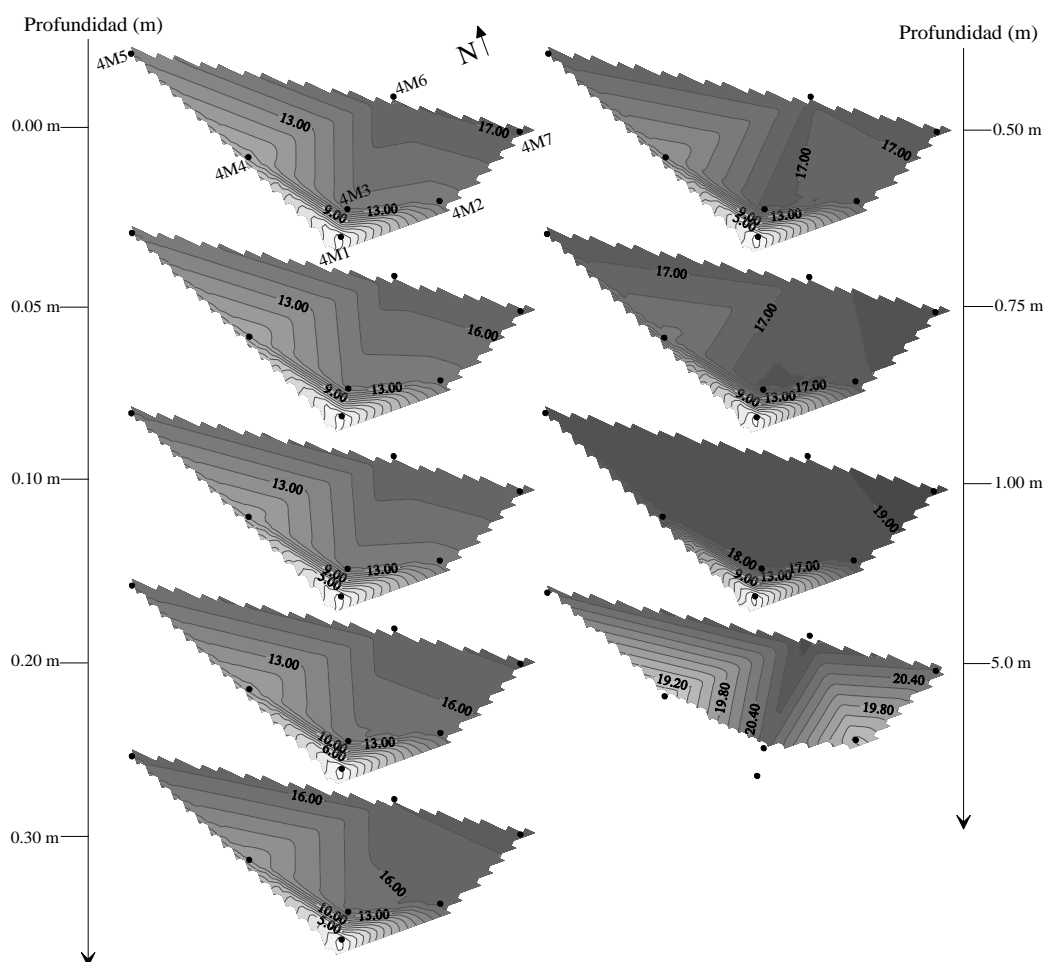


Figura 4.4.8. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 4. (La distribución a la profundidad de 5.0 m posee escala diferente).

4.4.3.- Amonio

Este nutriente posee un valor máximo de $9.9 \mu\text{mol/L}$ en la estación 4M1 a la profundidad de 0.00 m y un mínimo inferior a $0.1 \mu\text{mol/L}$ a 0.00 m en 4M6. En la tabla 4.4.2 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes. Al igual que ocurría en otros muestreos, y por las mismas razones ya apuntadas anteriormente, las concentraciones de amonio son mayores en la estación de mayor influencia continental (4M1), siendo menores en el resto. Estas concentraciones son de mayor magnitud en la parte superior de la columna de

agua y menores a las mayores profundidades, aunque en las estaciones de menor influencia continental (4M6 y 4M7) no se observa esta pauta.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	9.9	0.00	1.2	-3.1
4M4	3.5	0.00, -0.05, -0.10	1.0	-1.00
4M5	1.9	-0.05	0.2	-0.50
4M3	2.1	-0.05	0.5	-0.50
4M2	4.3	-0.10	0.6	-5.0, -12.5
4M6	1.2	-0.75	<0.1	0.00
4M7	1.7	-0.20	0.1	0.00, -0.10

Tabla 4.4.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

En la figura 4.4.9 se representa la distribución superficial a 0.00 m de profundidad, donde vemos que esta distribución es contraria a la obtenida para la clorinidad (figura 4.4.7) pues debido a los aportes fluviales las estaciones de mayor influencia continental tienen mayores concentraciones de amonio.

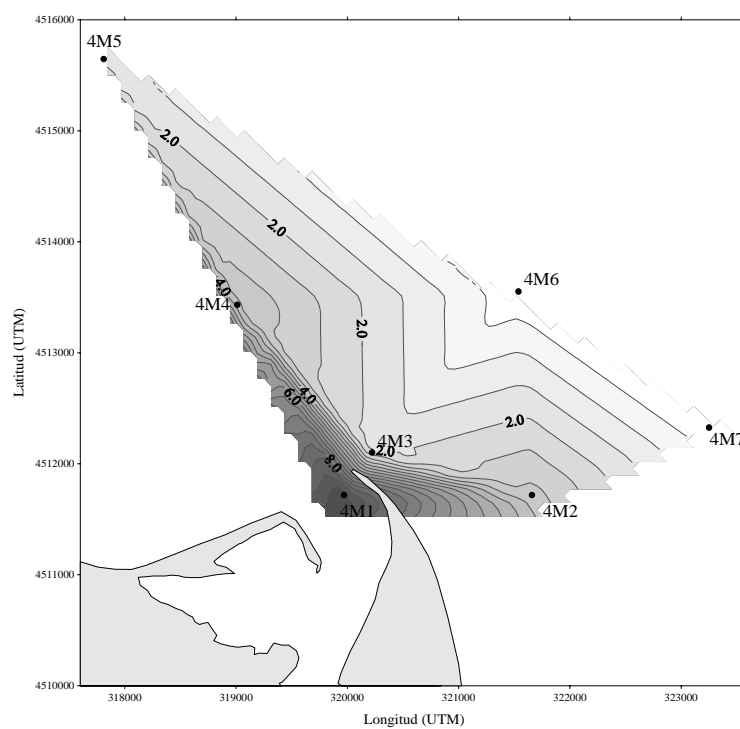


Figura 4.4.9. Distribución superficial de amonio ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 4.

La distribución vertical en el transecto 4M5-4M2 se muestra en la figura 4.4.10. La esperada pauta de disminución al aumentar la profundidad se observa solamente en la estación 4M4, encontrándose variaciones de diferente magnitud en el resto de estaciones de este transecto, destacando el gran aumento encontrado en la estación 4M2 a unas profundidades de 0.05-0.10 m.

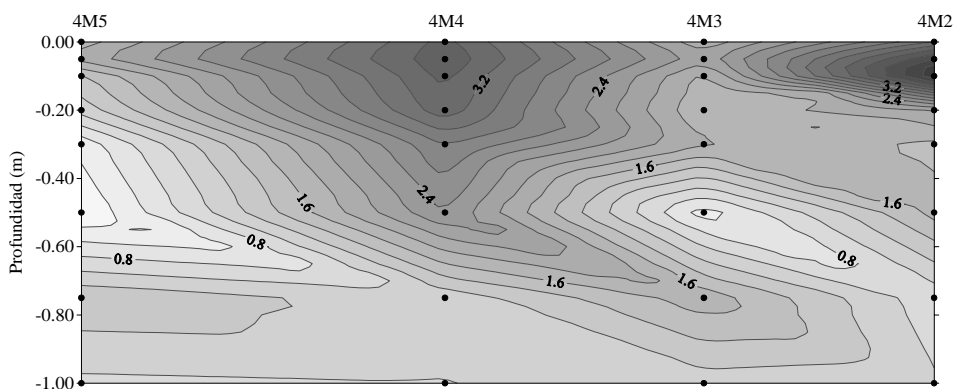


Figura 4.4.10. Distribución vertical de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

Estas discontinuidades cabe achacarlas principalmente a las abundantes entradas y salidas de este nutriente y a la gran influencia que la actividad biológica tiene en la concentración de esta especie de nitrógeno, discontinuidades que se observan con mayor precisión en la figura 4.4.11 donde se representa los perfiles verticales de cada una de las estaciones.

En general, y al contrario de lo que ocurría en otros muestreos, parece apreciarse una ligera pauta de disminución con la profundidad, aunque en los puntos más profundos no llegan a los niveles cercanos al agotamiento que se alcanzaron en otras campañas. En las estaciones 4M5, 4M6 y 4M7 la concentración a 5.0 m de profundidad llega a ser del orden de $0.4 \mu\text{mol/L}$ mientras que en el resto es de $1.0 \mu\text{mol/L}$.

La estación 4M4 es la única en la que no se observa discontinuidades en la pauta de disminución con la profundidad, destacando un valor constante desde 0.00 hasta 0.10 m y un pequeño aumento a 5.0 m, mientras que en el resto de estaciones se producen variaciones de diferente magnitud. En las de menor influencia continental (4M6 y 4M7), los valores superficial y profundo son similares, encontrándose aumentos a distintas profundidades (0.20 y 0.75 m en 4M6 y 0.20 y 0.50 m en 4M7). En 4M1, 4M5, 4M3 y 4M2 la concentración de

amonio disminuye al aumentar la profundidad, pero en general se observan desviaciones en los primeros centímetros de la capa de agua (0.00-0.10 m) y a las mayores profundidades (0.75-1.00 m), aunque en la estación 4M3 se encuentran variaciones en toda la columna de agua.

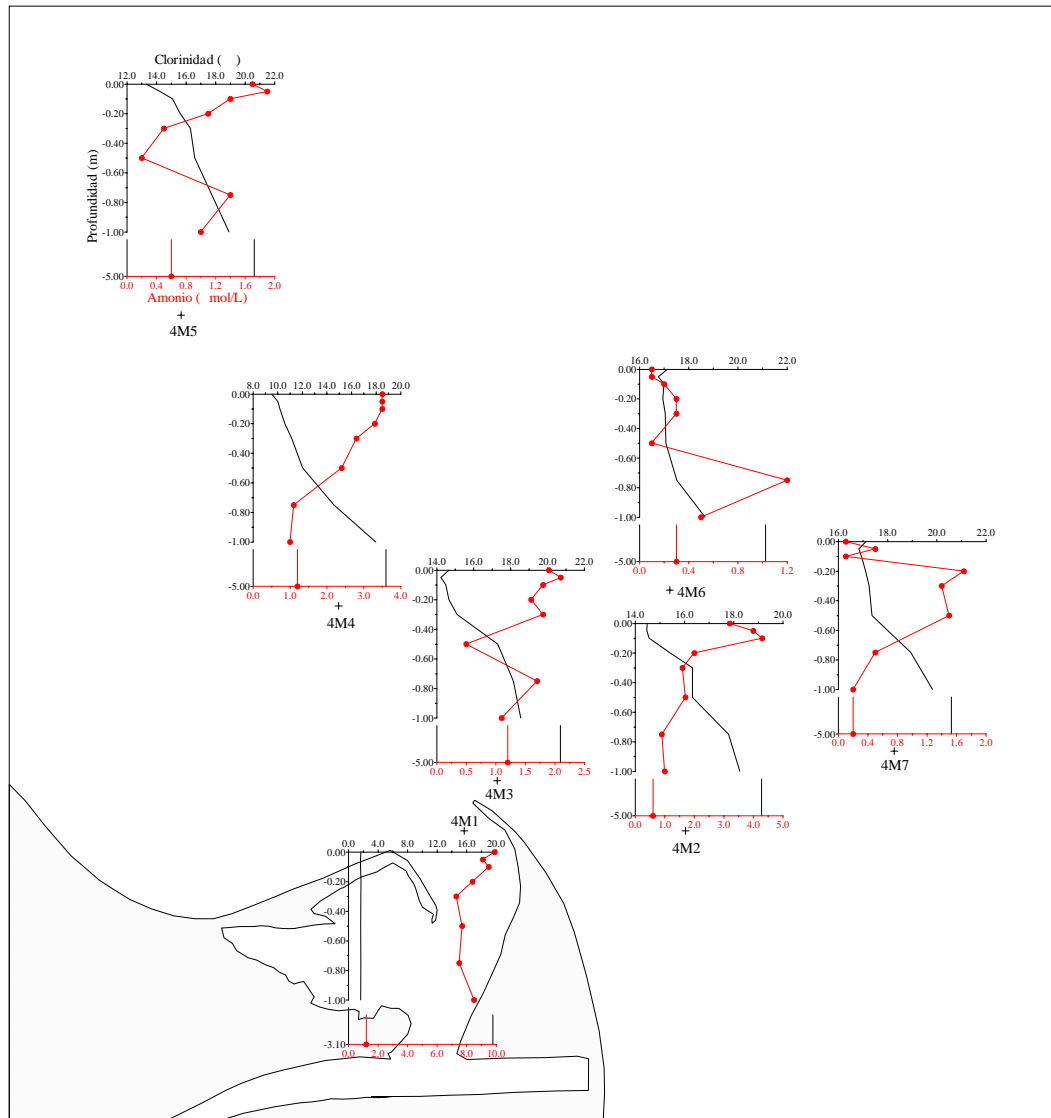


Figura 4.4.11. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 4.

En la figura 4.4.12 se muestra el comportamiento de este nutriente en el proceso de mezcla para cada una de las estaciones, donde se observa que en general estas concentraciones disminuyen al aumentar la clorinidad, pero con diferentes comportamientos:

- La estación de mayor influencia fluvial (4M1), posee valores más altos de los que correspondería por la simple dilución del agua dulce/salobre del río con la

salina del mar. Esto probablemente sea debido a la mineralización del nitrógeno orgánico de las células senescentes al ser afectadas por el shock salino.

- En las estaciones 4M4, 4M5, 4M3 y 4M6 se observan pérdidas en las zonas de menor clorinidad y ligeros aumentos en la de mayor. Parece que el movimiento de la comunidad planctónica a lo largo de la columna de agua transfiere amonio desde la superficie a las zonas más profundas.

- En 4M2 se encuentra un comportamiento intermedio entre los dos grupos anteriores, con ganancias en las zonas de menor y mayor clorinidad y casi conservativo en la intermedia.

- En 4M7 el comportamiento va variando con la clorinidad, encontrándose pérdidas en las zona de menor y mayor clorinidad y conservativo en la zona intermedia.

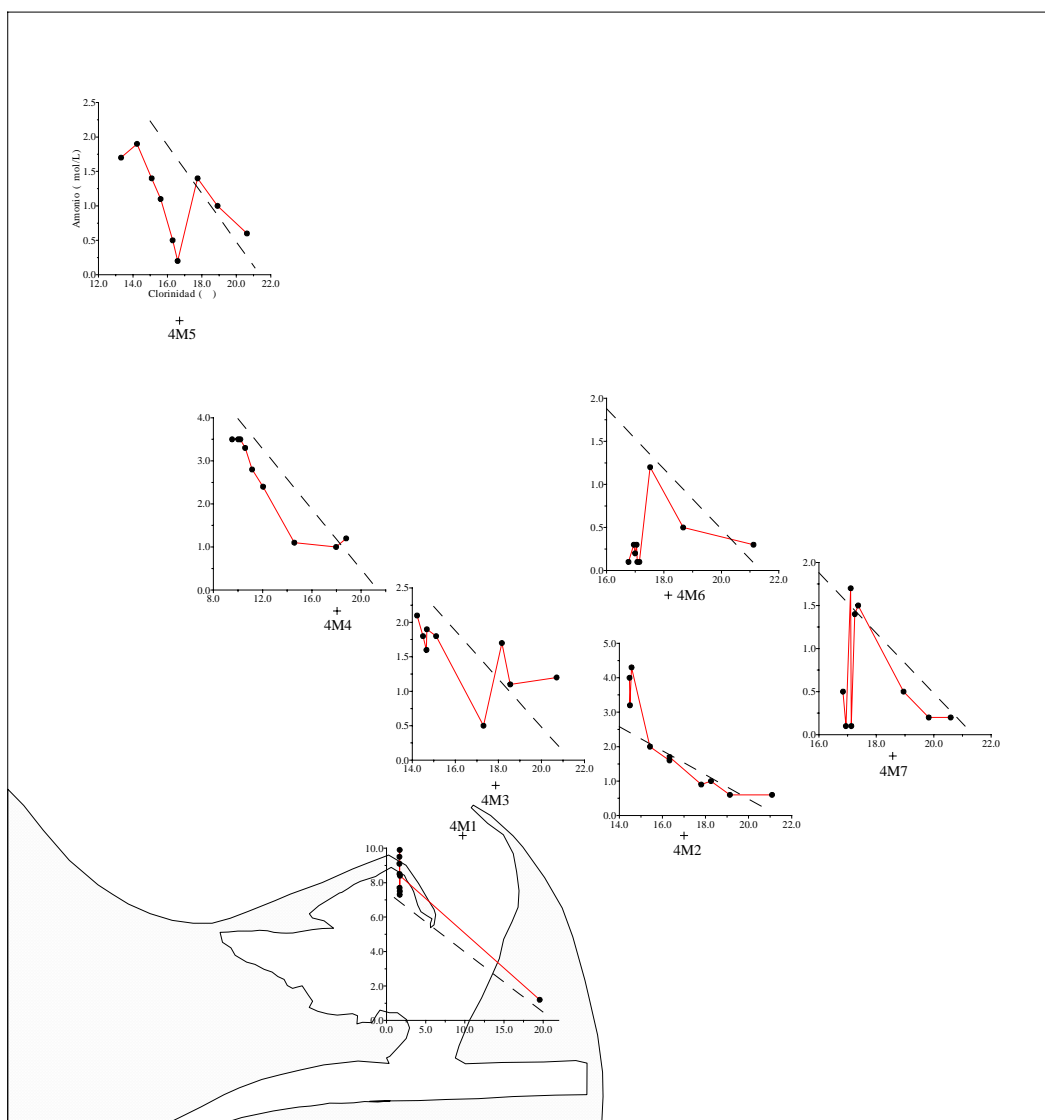


Figura 4.4.12. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 4.

Las pérdidas encontradas en 4M4, 4M5, 4M3, 4M6 y 4M7 cabe achacarlas en general a la predominancia de procesos como la absorción fitoplanctónica y bacteriana y a la nitrificación. En cambio las ganancias que se producen en las zonas de mayor clorinidad y en la estación 4M2 pueden deberse, como ya hemos dicho, a la predominancia de las exudaciones fitoplanctónicas, la amonificación, las excreciones de los heterótrofos que al moverse a lo largo de la columna de agua transfieren amonio desde la superficie a las zonas más profundas. Caso aparte merece la estación 4M1, donde la llegada de organismos de agua dulce a un ambiente salino provoca su muerte y posterior sedimentación, con la consiguiente liberación de amonio, provocando un aumento en su concentración. Parece que en la superficie de 4M2 podría darse un fenómeno similar al que se da en 4M1, pero en menor medida, ya que probablemente sólo afecte a parte de la población de fitoplancton, estando el resto adaptada a las nuevas condiciones de salinidad.

En la figura 4.4.13 se observa el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina.

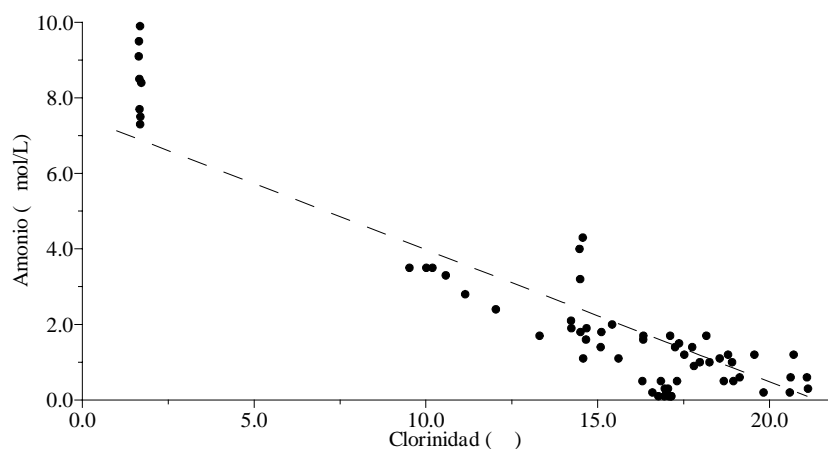


Figura 4.4.13. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 4.

La mayoría de las muestras quedan por debajo de la línea de mezcla ideal de origen fluvial, lo que nos indica una alta absorción por parte de las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas. En cambio, algunas de las muestras analizadas en este muestreo quedan por encima de dicha línea ideal. Habría que diferenciar dos causas para estos procesos de ganancia. En primer lugar, como ya hemos dicho en la estación de la boca (4M1) y en la superficie de 4M2 estas ganancias parecen deberse a las consecuencias del shock salino sobre las comunidades de fitoplancton. Sin embargo, las ganancias generadas en los puntos más profundos y

salinos de la mayor parte de las estaciones cabe achacarlas, como también hemos señalado anteriormente, al movimiento de la comunidad planctónica a lo largo de la columna de agua.

4.4.4.- Nitrato

La concentración de este nutriente varía desde un máximo de 122.2 $\mu\text{mol/L}$ a 0.05 m en la estación 4M1 hasta un mínimo de 0.7 $\mu\text{mol/L}$ en 4M2 a 12.5 m. En la tabla 4.4.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	122.2	-0.05	10.5	-3.1
4M4	65.0	-0.10	14.3	-5.0
4M5	47.5	0.00	3.2	-5.0
4M3	41.3	-0.20	2.1	-5.0
4M2	43.3	0.00	0.7	-12.5
4M6	25.9	-0.20	1.7	-5.0
4M7	28.8	-0.05	4.0	-5.0

Tabla 4.4.3. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrato en las diferentes estaciones durante el muestreo 3.

Como ocurre con otros nutrientes, debido a los aportes fluviales, las concentraciones más elevadas se corresponden con las estaciones de mayor influencia fluvial (4M1 y 4M4), siendo menores en el resto al disminuir ésta. Dentro de cada estación los valores más elevados se localizan generalmente en las capas más superficiales (excepto en 4M3 y 4M6 que se dan a 0.20 m), y los menores en las más profundas.

La distribución superficial de este nutriente, representada en la figura 4.4.14, pone de manifiesto la importancia de los aportes continentales, pues las concentraciones disminuyen al alejarnos de la boca del río Ebro y disminuir la influencia continental. Esta pauta de disminución también queda patente en la figura 4.4.15, donde se representa la distribución vertical en el transecto formado por las estaciones 4M5, 4M4, 4M3 y 4M2.

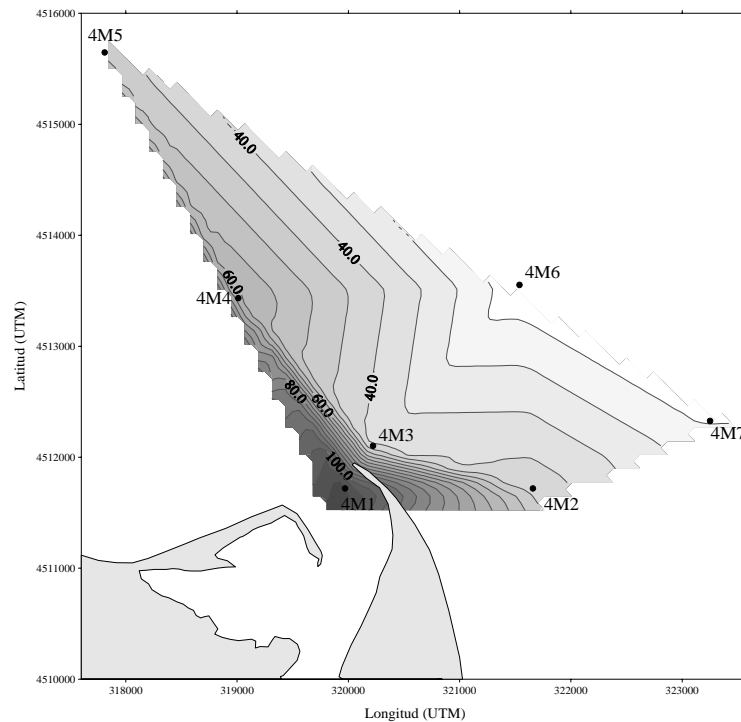


Figura 4.4.14. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 4.

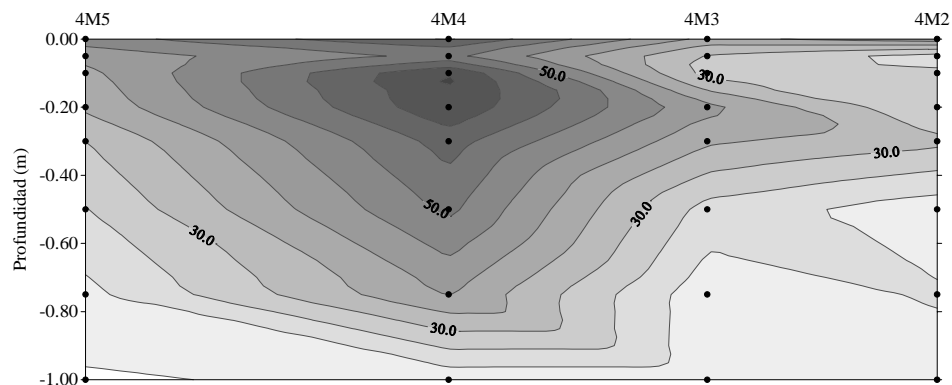


Figura 4.4.15. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

En esta figura 4.4.15 se observa la esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad por la mezcla física entre dos capas de agua de diferente concentración. Pero existen ciertas variaciones en la capa subsuperficial, variaciones que pueden observarse más claramente en la figura 4.4.16 donde se muestra los perfiles verticales en cada una de las estaciones. La concentración de nitrato tiende a disminuir con la profundidad en todas las estaciones, encontrándose los menores valores a 5.0 m. Pero, como anteriormente dijimos, existen variaciones de esta pauta. Solamente en 4M5 la concentración de nitrato disminuye gradualmente con la profundidad. En el resto se producen desviaciones en dos diferentes zonas de la columna de agua.

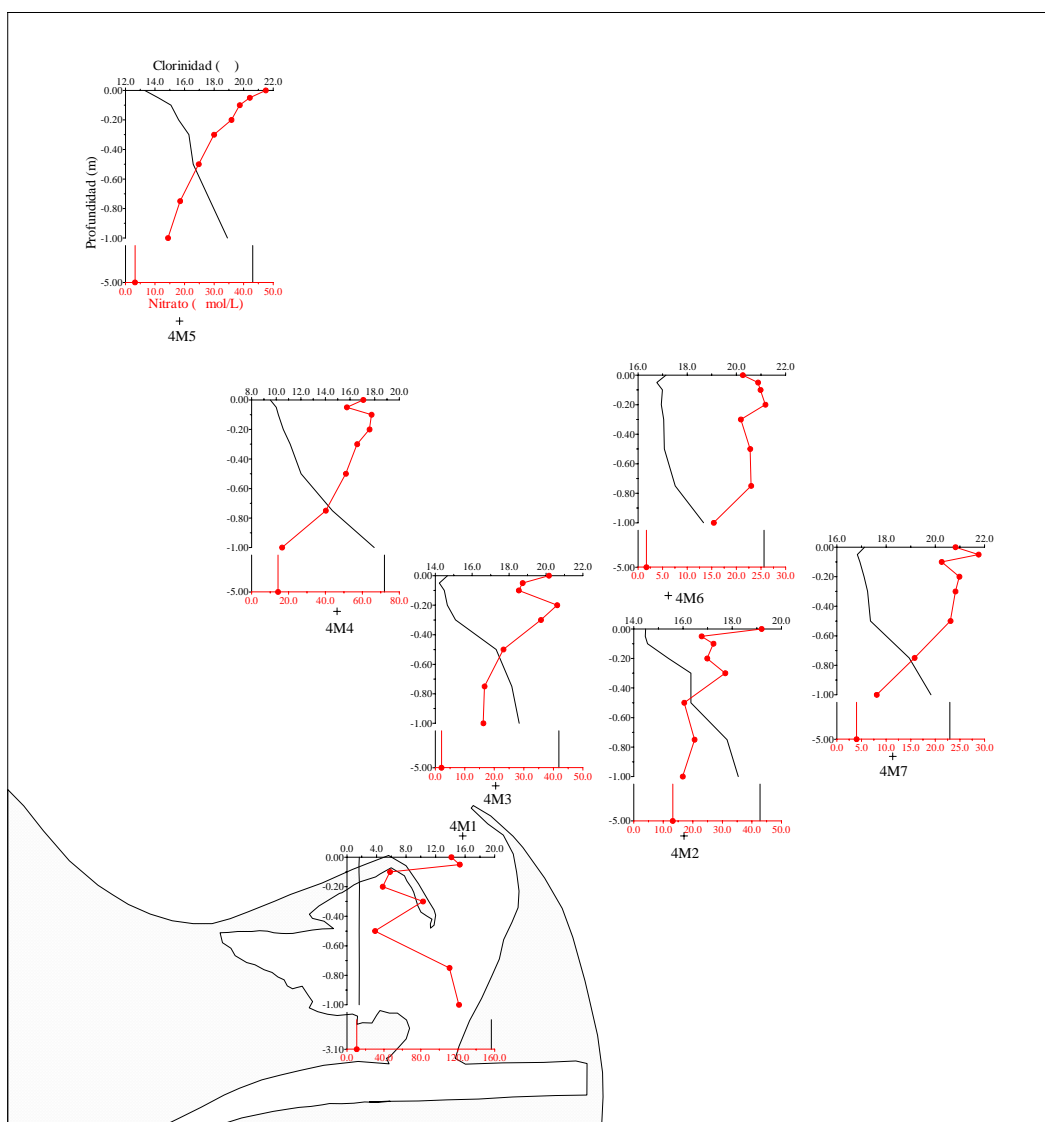


Figura 4.4.16. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 4.

Estas desviaciones tienen lugar en:

- Las capas más superficiales (entre 0.00 y 0.30 m) de todas las estaciones excepto de 4M5, probablemente debidas a la absorción de las comunidades fitoplanctónicas.

- Las capas más profundas (entre 0.75 y 1.00 m) de las estaciones 4M2 y 4M6, que no son de especial relevancia.

- Caso aparte merece la estación de mayor influencia fluvial, 4M1, donde en un pequeño rango de clorinidad, la concentración de esta forma de nitrógeno varía ampliamente (de 122.2 a 30.4 $\mu\text{mol/L}$). En esta estación parece que se da conjuntamente dos procesos encontrados, la senescencia de las comunidades estrictamente de agua dulce con su mineralización-excreción-sedimentación y el crecimiento de los organismos adaptados a estas nuevas condiciones. Mientras

que en el caso del amonio y del PSR ambos procesos están más equilibrados y, como hemos podido ver y veremos posteriormente, no tienen unas pérdidas excesivas en la mezcla, en el caso del nitrato mientras que el crecimiento de la nueva comunidad genera pérdidas, la descomposición de la materia orgánica senescente solo puede hacerlo si la nitrificación es muy activa, lo que no parece suceder aquí.

En la figura 4.4.17 se representa el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones.

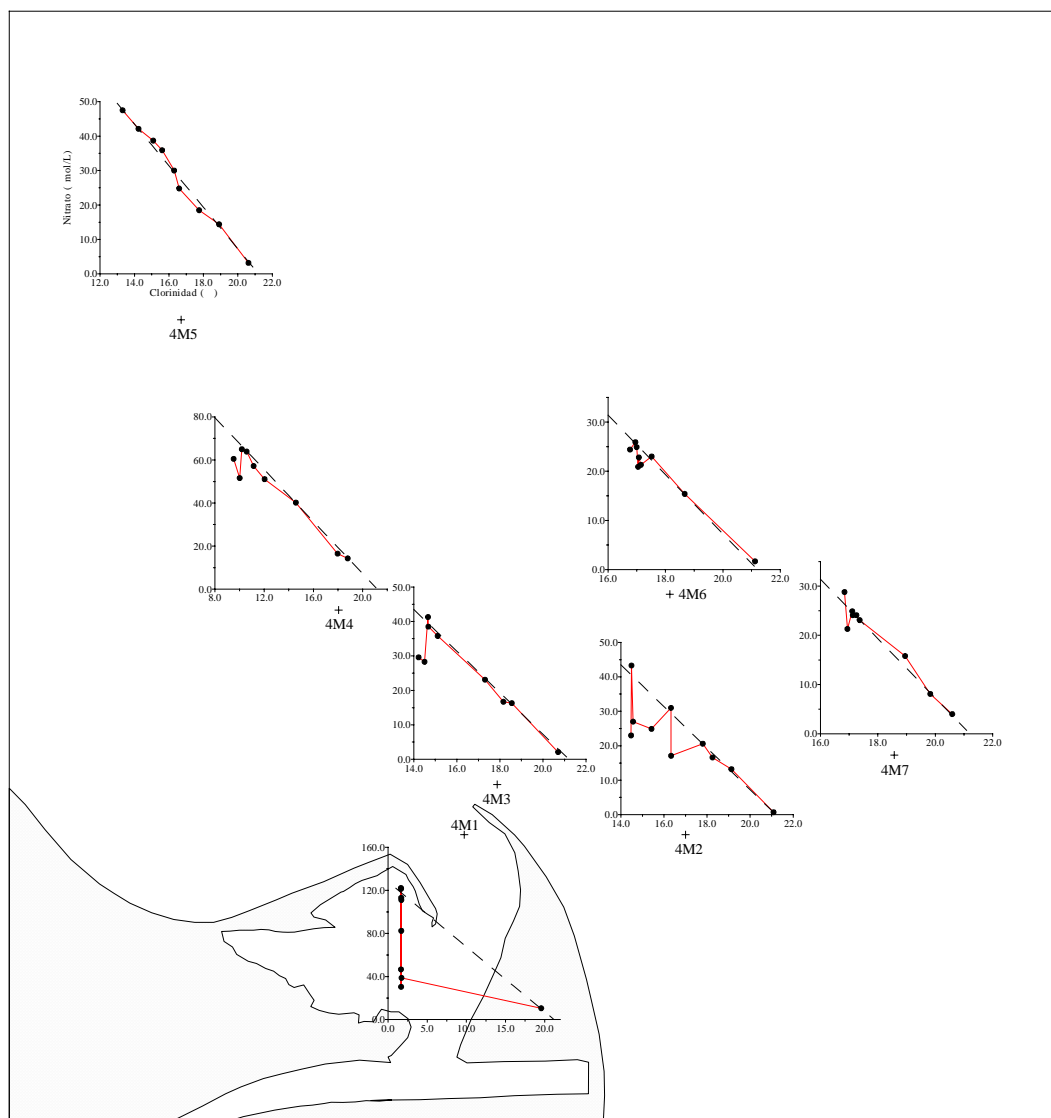


Figura 4.4.17. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 4.

Se observa una disminución de la concentración al aumentar la clorinidad en todas ellas. Sin embargo, a pesar de las variaciones anteriormente comentadas, el

comportamiento general de este nutriente es aproximadamente conservativo. Son de resaltar las pérdidas encontradas en las capas de agua de menor clorinidad, pérdidas que llegan a ser dramáticas en la estación de mayor influencia fluvial (4M1). Todas ellas son achacables a la predominancia de la absorción fitoplanctónica.

En la figura 4.4.18 se muestra el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina. En general el nitrato parece comportarse de manera aproximadamente conservativa, siendo a las menores clorinidades donde se producen algunas pérdidas. Éstas caben achacarse, como ya comentamos anteriormente, a la predominancia de la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica sobre otros procesos que aumentarían su concentración.

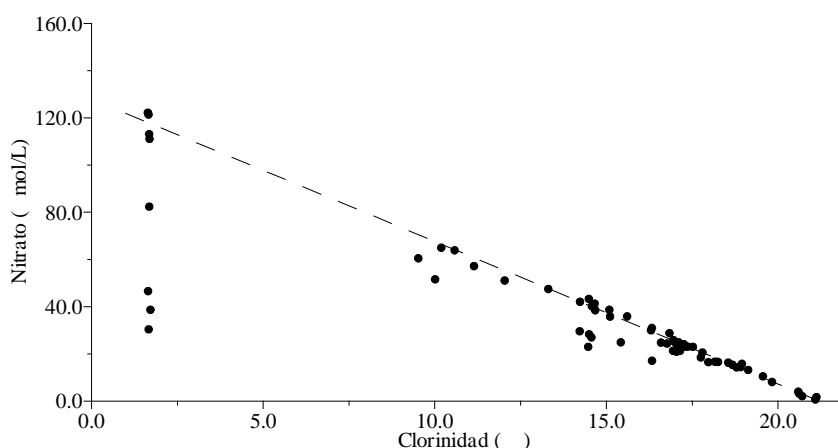


Figura 4.4.18. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 4.

4.4.5.- Nitrito

El valor máximo de la concentración de este nutriente se localiza en la estación 4M1 a 0.10 m de profundidad y corresponde a $3.05 \mu\text{mol/L}$, mientras que el mínimo es inferior al límite de detección del método analítico ($0.01 \mu\text{mol/L}$) y se localiza a las mayores profundidades en 4M5, 4M2, 4M6 y 4M7. En la tabla 4.4.4 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores. Evidentemente, y debido a los aportes fluviales, las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia continental (4M1 y 4M4), disminuyendo conforme las aguas se vuelven más salinas, llegando incluso a valores menores de $0.01 \mu\text{mol/L}$.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	3.05	-0.10	0.16	-3.1
4M4	1.77	-0.05	0.25	-5.0
4M5	0.88	0.00	<0.01	-5.0
4M3	0.96	-0.05	0.01	-5.0
4M2	0.83	-0.05	<0.01	-12.5
4M6	0.49	-0.05	<0.01	-5.0
4M7	0.48	-0.05	<0.01	-5.0

Tabla 4.4.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

La distribución superficial se ha representado en la figura 4.4.19, donde se observa que ésta es del mismo estilo que la del nitrato (figura 4.4.14) y amonio (figura 4.4.9) por las mismas razones anteriormente apuntadas.

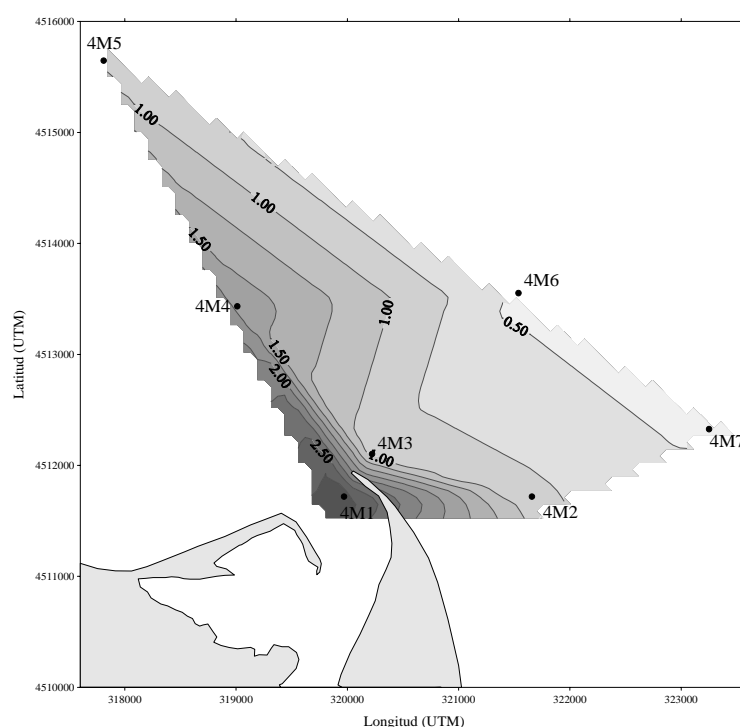


Figura 4.4.19. Distribución superficial de nitrito ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 4.

En la figura 4.4.20 se muestra la distribución vertical para el transecto 4M5-4M2, donde se observa que la concentración de nitrito va disminuyendo al aumentar la profundidad, aunque con diversas variaciones de esta pauta general.

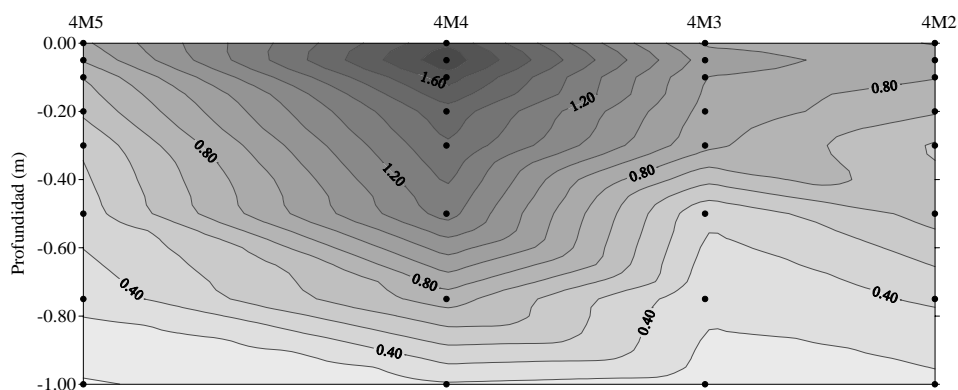


Figura 4.4.20. Distribución vertical de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

Estas desviaciones se observan con mayor precisión en la figura 4.4.21. La concentración disminuye gradualmente al aumentar la profundidad, llegando a valores cercanos al agotamiento en las estaciones 4M5, 4M6 y 4M7 a 5.0 m de profundidad y en la estación 4M2 a 12.5 m (muestra que no se ha representado).

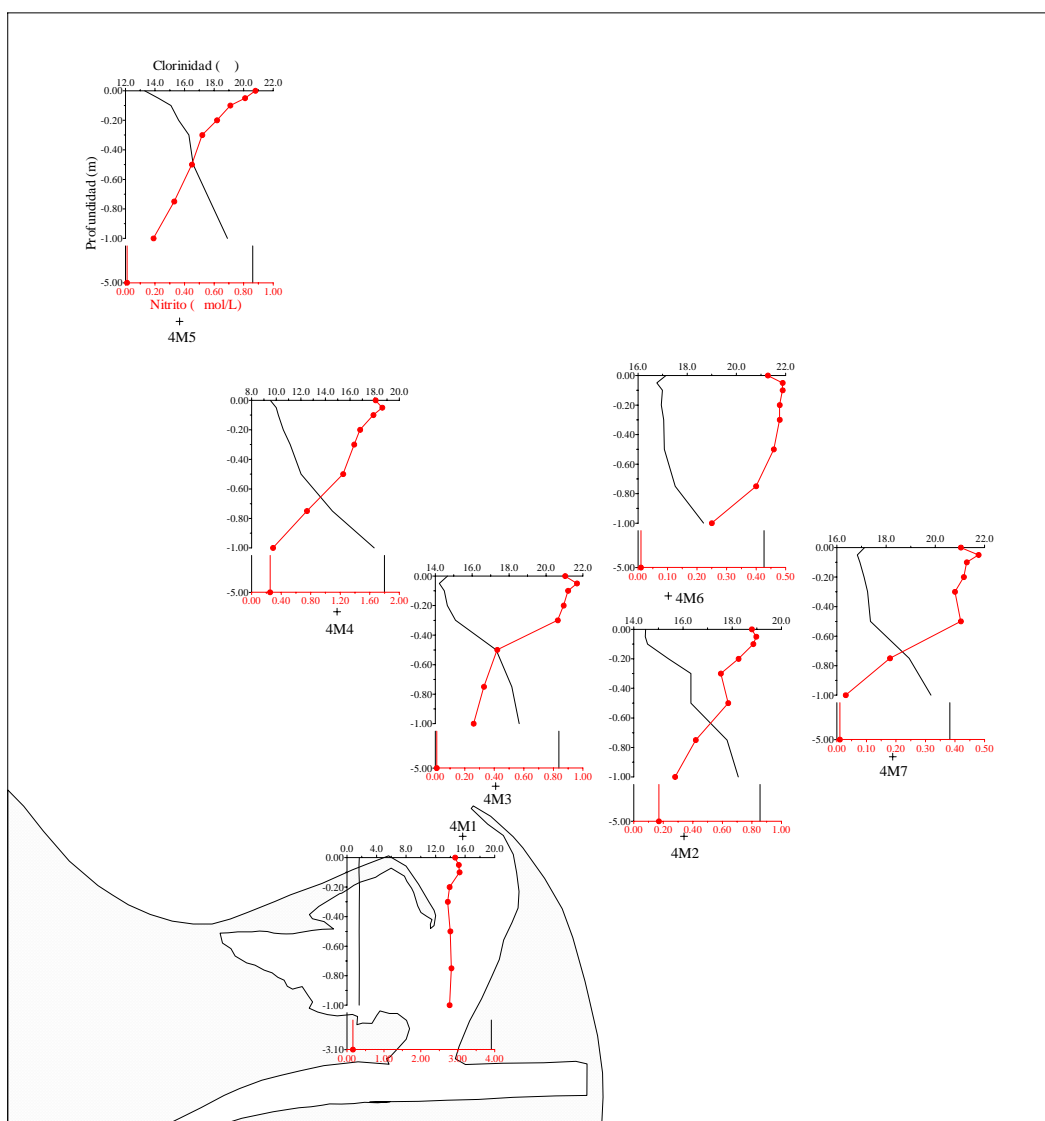


Figura 4.4.21. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 4.

En general se puede decir que estos perfiles son aproximadamente una “imagen especular” de la clorinidad, lo que nos indica que este nutriente no se ve muy afectado en este muestreo por los diversos procesos físicos, químicos y biológicos que pueden llegar a darse en la pluma estuarina. Más bien parece que el nitrito esté fundamentalmente afectado por la mezcla física en sí entre las aguas dulces/salobres del río y las más salinas del mar. Pero, al igual que ocurría en otros muestreos, aunque la pauta general es de disminuir con la profundidad, encontramos pequeñas desviaciones en algunas estaciones en las capas de agua más superficiales. Así, en la estación 4M1 tanto la clorinidad como el nitrito permanecen casi constantes en el primer metro de la columna de agua, observando posteriormente una gran disminución debida al aumento de la clorinidad. En todas las demás estaciones, excepto en 4M5, se observan desviaciones en los primeros 5 cm y también en las estaciones 4M2 y 4M7 a 50 cm de profundidad. Estas disminuciones encontradas en la capa más superficial hay que achacarlas a la distribución de signo contrario de la clorinidad.

En la figura 4.4.22 se observa el comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones. En primer lugar se ha resaltar que la línea de mezcla ideal dulce/salina obtenida utilizando el valor promedio de las muestras dulces de la estación R1 de la campaña del río de los días 5 y 6 de octubre (línea negra) queda muy por debajo de nuestras muestras, sobre todo si tenemos como referencia nuestra estación 4M1, que además en este muestreo tiene bastante cantidad de agua dulce (el primer metro de la columna de agua). Esto puede ser achacado a las diferentes condiciones que se pueden haber dado en el río entre los días 5 y 6 (clorinidad media 3.075‰ de las muestras dulces de R1) y el 8 de octubre (clorinidad media 1.673‰ de las muestras dulces de 4M1), pues además también comprobaremos que ocurre lo mismo para los siguientes muestreos de esta misma campaña (9 y 10 de octubre).

Como era de esperar, las concentraciones de nitrito disminuyen al aumentar la clorinidad. Como ya hemos comentado si tenemos en cuenta la línea de mezcla de origen fluvial observamos que en todas las estaciones se producen ganancias, que serían más achacables a unos mayores valores de las concentraciones de nitrito en el río en este día de muestreo con respecto a los días 5 y 6 de octubre,

que a la predominancia de procesos de exudación autótrofa o nitrificación de amonio. Esto quedaría bastante más claro si tenemos en cuenta el promedio de las muestras más dulces de la estación 4M1 (el primer metro de la columna) para calcular la línea de mezcla ideal en vez del promedio del río, línea azul que se ha representado también en la figura 4.4.22. Así, teniendo en cuenta esta última línea de mezcla ideal, observamos diferentes comportamientos. El nitrito se comporta de manera conservativa en la estación de mayor influencia fluvial 4M1, mostrando ligeras pérdidas en el resto de estaciones probablemente debido a la predominancia de la absorción fitoplanctónica y la nitrificación del nitrito sobre la exudación y la nitrificación del amonio.

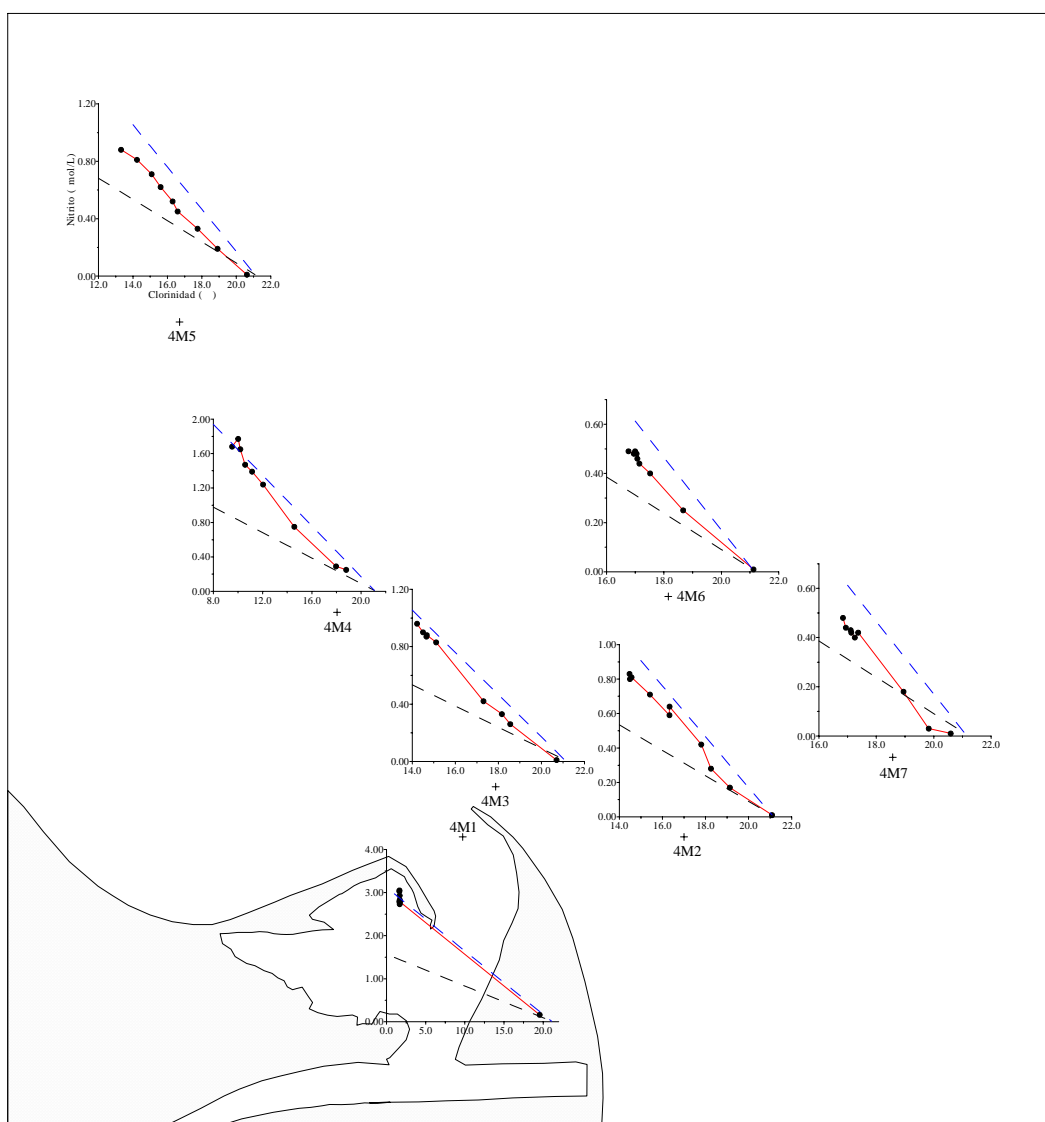


Figura 4.4.22. Comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla. Muestreo 4.

En la figura 4.4.23 se representa el comportamiento global en la pluma estuarina, donde se observa que, respecto a la línea de origen fluvial (línea negra), el nitrito presenta ganancias. Sin embargo, teniendo en consideración la línea de mezcla con el promedio de 4M1 (línea azul) el nitrito sufre ligeras pérdidas que serían achacables a la alta absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación.

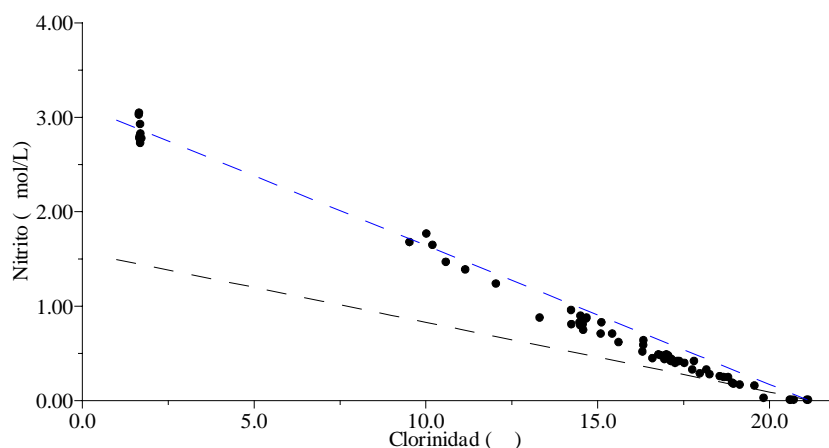


Figura 4.4.23. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 4.

4.4.6.- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

Como ocurría con otros muestreos las concentraciones de NID tienen un rango de variación similar al del nitrato por el mayor peso de éste respecto al amonio y al nitrito. El máximo se localiza en la estación 4M1 a 0.05 m de profundidad y es de 134.3 $\mu\text{mol/L}$, y el mínimo corresponde a 1.4 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en 4M2 a 12.5 m. En la tabla 4.4.5 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	134.3	-0.05	11.9	-3.10
4M4	70.1	-0.10	15.8	-5.0
4M5	50.1	0.00	3.8	-5.0
4M3	43.8	-0.20	3.3	-5.0
4M2	47.3	0.00	1.4	-12.5
4M6	26.7	-0.20	2.1	-5.0
4M7	29.8	-0.05	4.2	-5.0

Tabla 4.4.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

Del mismo modo que en otros muestreos, y por las razones ya apuntadas, las distribuciones y el comportamiento del NID son iguales que las del nitrato. Como era de esperar las concentraciones del NID son mayores en la estación de mayor influencia fluvial (4M1) y menores en el resto. Estas concentraciones van disminuyendo al aumentar la profundidad, encontrando los menores valores a las mayores profundidades.

En las figuras 4.4.24 y 4.4.25 se ha representado los perfiles y el comportamiento del NID en cada una de las estaciones, donde se observan gráficos muy similares a los del nitrato (figuras 4.4.16 y 4.4.17) por lo que todo lo comentado para el nitrato (apartado 4.4.4) es válido para el NID.

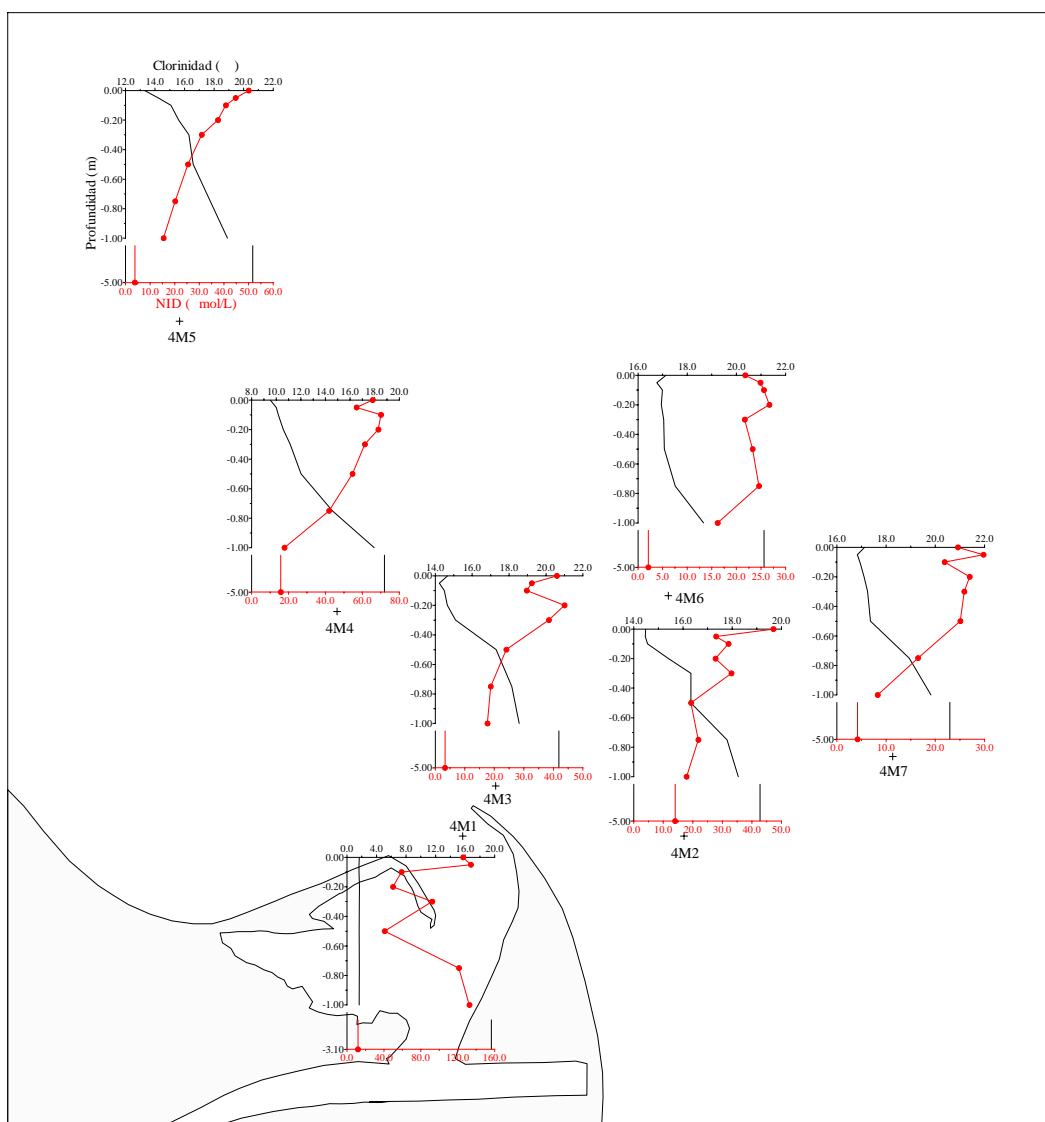


Figura 4.4.24. Perfiles verticales de NID. Muestreo 4.

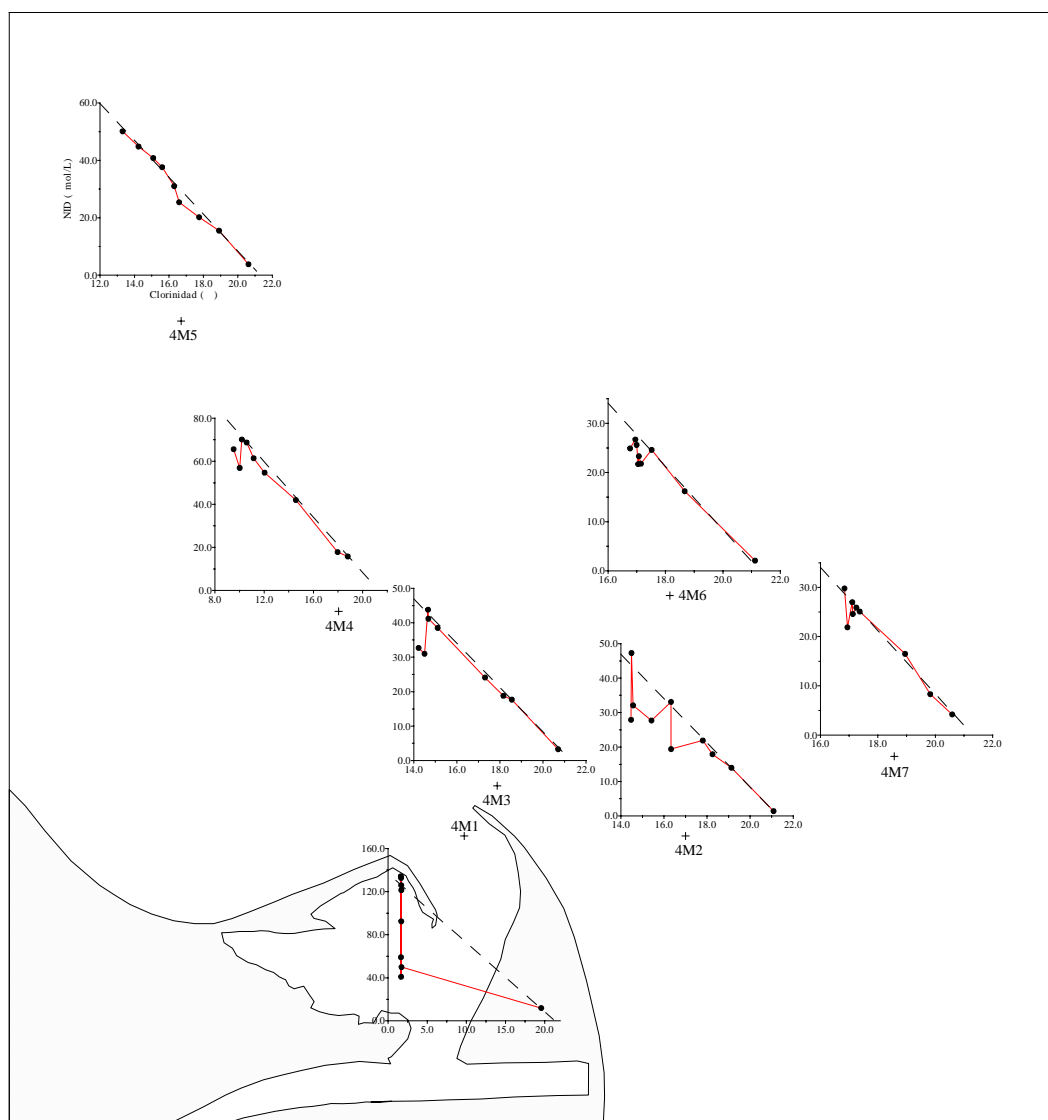


Figura 4.4.25. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 4.

En todas las estaciones la concentración de NID disminuye con la profundidad y la clorinidad. En general se observa que el NID, al igual que ocurriría con el nitrato, presenta un comportamiento bastante conservativo en la mayoría de las estaciones, exceptuando la estación de mayor influencia fluvial (4M1) y las muestras menos salinas del resto de estaciones, donde se producen algunas pérdidas de diferente magnitud debido a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre otros procesos.

En la figura 4.4.26 se representa el comportamiento global del NID en la pluma estuarina, donde se observa un comportamiento bastante conservativo. Solamente en las muestras de menor clorinidad se llegan a apreciar algunas

pérdidas que son achacables, como ya dijimos anteriormente, a la absorción fitoplanctónica.

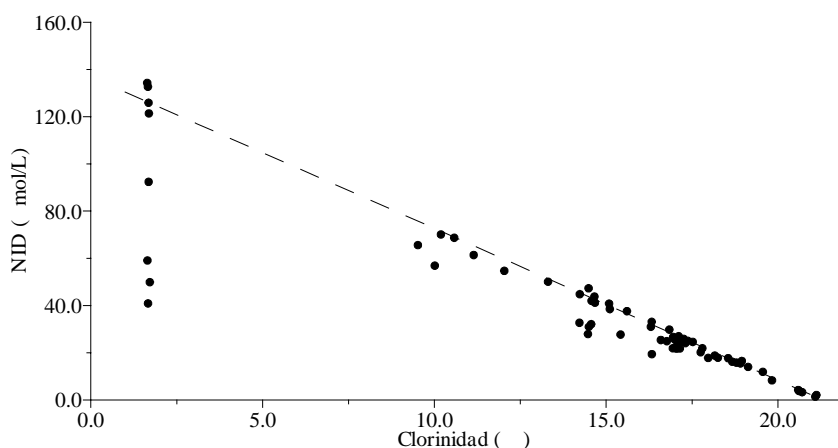


Figura 4.4.26. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 4.

4.4.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

En este muestreo los datos de fósforo que no siguen la tónica esperada de que la concentración de PSR sea menor o igual que la de PDT y esta última menor o igual que la de PT y que han sido desechados, son los mostrados en la tabla 4.4.6 que se encuentran subrayados.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)
4M1-0.05	2.54	2.55	<u>2.40</u>
4M1-0.20	2.45	2.48	<u>2.38</u>
4M1-0.30	2.54	2.62	<u>1.77</u>
4M1-1.00	2.69	<u>2.29</u>	<u>2.04</u>
4M2-12.5	<0.03	<u>0.15</u>	0.06
4M6-0.30	0.37	<u>0.33</u>	0.68
4M7-0.00	0.41	<u>0.38</u>	0.84

Tabla 4.4.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 4.

La concentración de fósforo soluble reactivo (PSR) en este muestreo varía desde un máximo de $2.81 \mu\text{mol/L}$ encontrado en la estación 4M1 a 0.50 m , hasta unos mínimos inferiores a $0.03 \mu\text{mol/L}$ en 4M5, 4M3, 4M2, 4M6 y 4M7 a las mayores profundidades. En la tabla 4.4.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes. Las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia continental debido a los aportes fluviales. Así, éstas van

disminuyendo al hacerlo esta influencia, al aumentar la clorinidad y la profundidad.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	2.81	-0.50	0.15	-3.1
4M4	1.01	0.00	0.16	-5.0
4M5	0.48	0.00	<0.03	-5.0
4M3	0.50	0.00, -0.20	<0.03	-5.0
4M2	0.54	0.00	<0.03	-12.5
4M6	0.39	-0.05, -0.20	<0.03	-5.0
4M7	0.44	-0.05	<0.03	-5.0

Tabla 4.4.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

En la figura 4.4.27 se representa la distribución horizontal de este nutriente, donde puede apreciarse que las menores concentraciones se localizan en las estaciones 4M5, 4M6 y 4M7 debido a la dilución con las aguas salinas de menor concentración, siendo mayores en el resto.

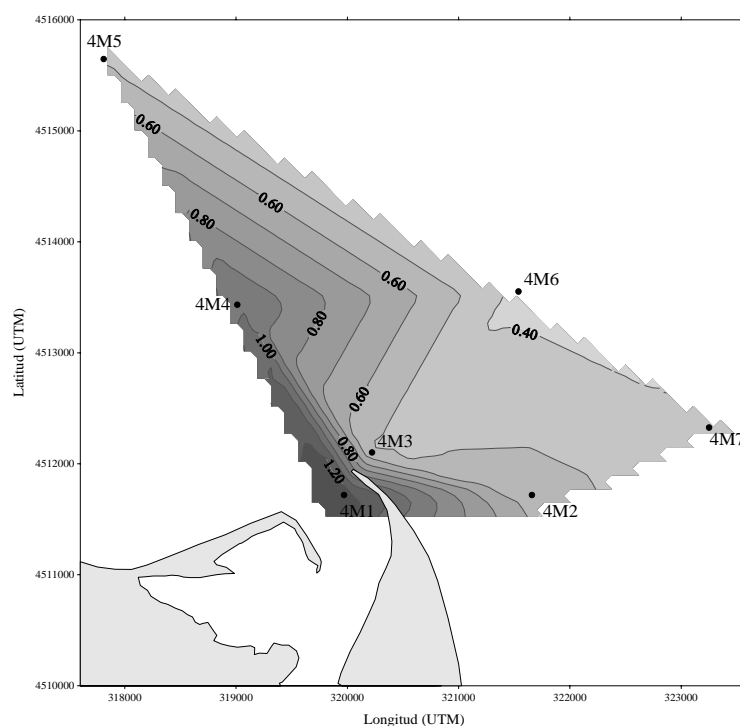


Figura 4.4.27. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 4.

En la figura 4.4.28 se muestra un corte vertical del transecto 4M5-4M2. La concentración disminuye al aumentar la profundidad, aunque en algunas estaciones (4M5 y 4M2) se observan desviaciones de esta pauta general.

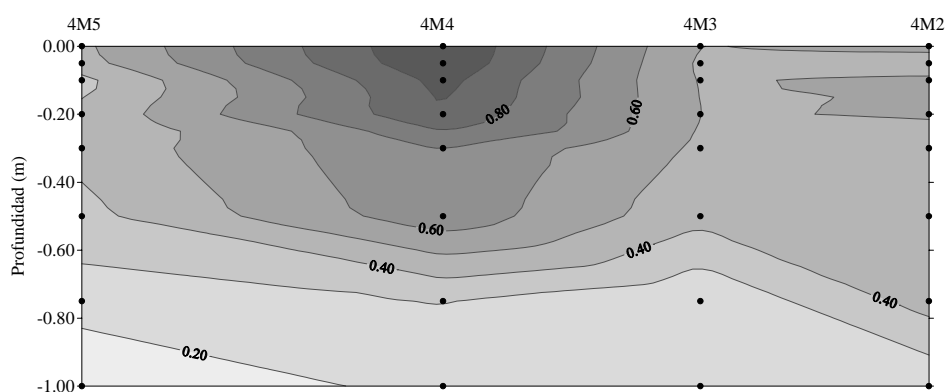


Figura 4.4.28. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

En la figura 4.4.29 se representa los perfiles en cada una de las estaciones.

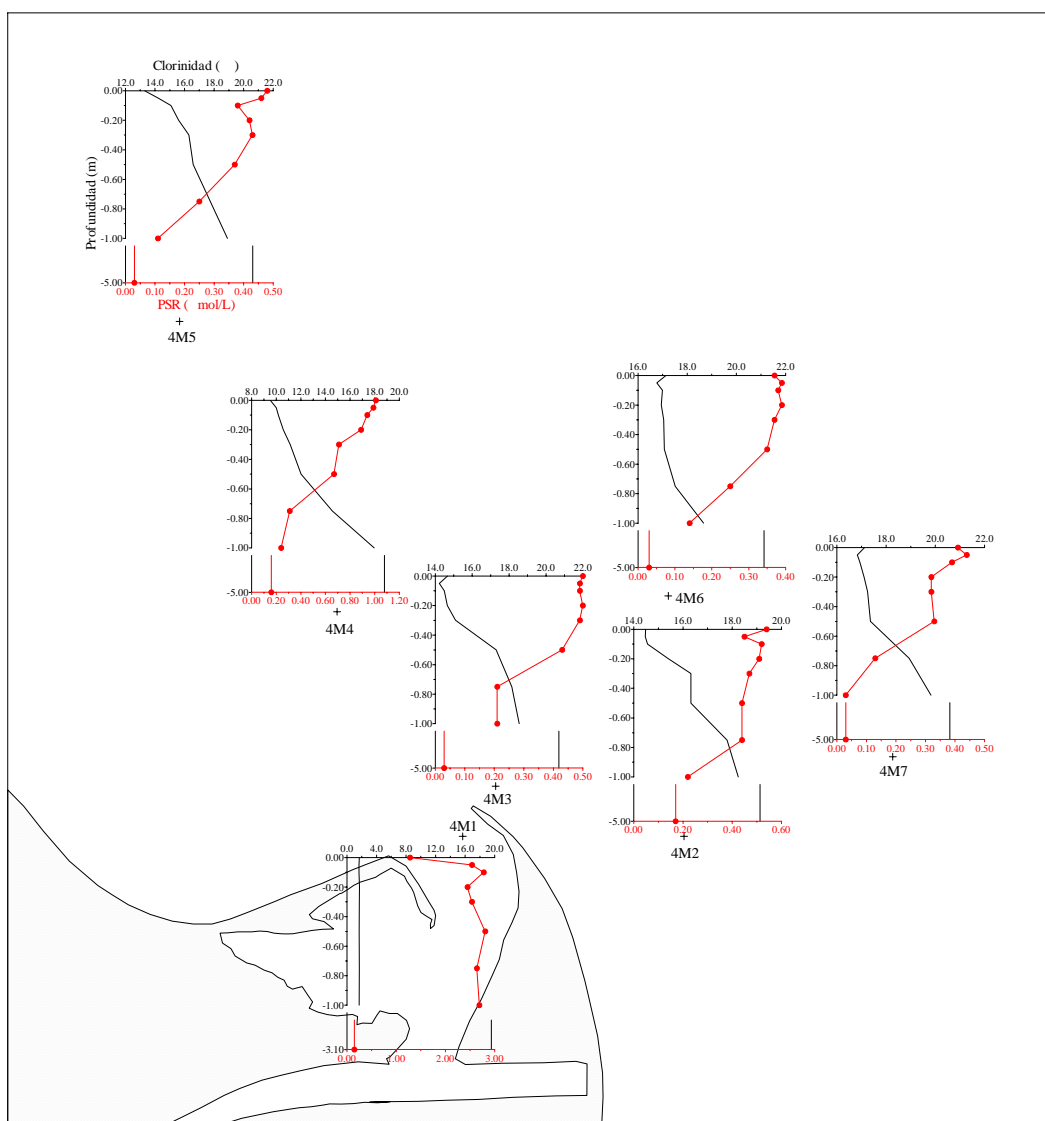


Figura 4.4.29. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 4.

Se puede ver en esta figura 4.4.29 que esta disminución gradual con la profundidad en cada una de las estaciones tiene algunas desviaciones:

- Éstas se dan generalmente en las capas más superficiales, hasta unos 20 cm aproximadamente en todas las estaciones, excepto en 4M4, probablemente debidas como otras veces al movimiento y actividad de las comunidades planctónicas en esta delgada capa de agua, junto a la entrada de agua marina en la superficie de algunas estaciones.

- A mayor profundidad también llegan a observarse algunas otras variaciones de menor magnitud de esta pauta general de disminución, como las que se producen en 4M1 a 0.50 m, 4M2 a 0.75 m y en 4M7 a 0.50 m, que pueden achacarse a excreciones de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas.

- Se ha de resaltar la poca variación de la concentración que se da en la estación 4M1 entre 0.05 y 1.00 m, debido a la homogeneidad de la columna de agua.

En la figura 4.4.30 se ha representado el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones.

- Se producen pérdidas generalizadas en todas las estaciones y en todo el rango de clorinidades, siendo mayores generalmente a menor clorinidad.

- Solamente en la estación 4M1 puede decirse que el PSR se comporta de manera casi conservativa, exceptuando una sola muestra que se corresponde con la profundidad de 0.00 m.

Todas estas pérdidas son debidas a una alta absorción fitoplanctónica, aunque son de resaltar los pocos valores cercanos al agotamiento que se encuentran en este muestreo en comparación con los del mes de julio.

En la figura 4.4.31 se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla englobando las 7 estaciones de la pluma estuarina. Se observa, como anteriormente dijimos, una pérdida generalizada en toda la pluma estuarina debido a que el consumo y asimilación del fosfato por parte de los diversos organismos fitoplanctónicos predomina sobre otro tipo de procesos que aumentan su concentración.

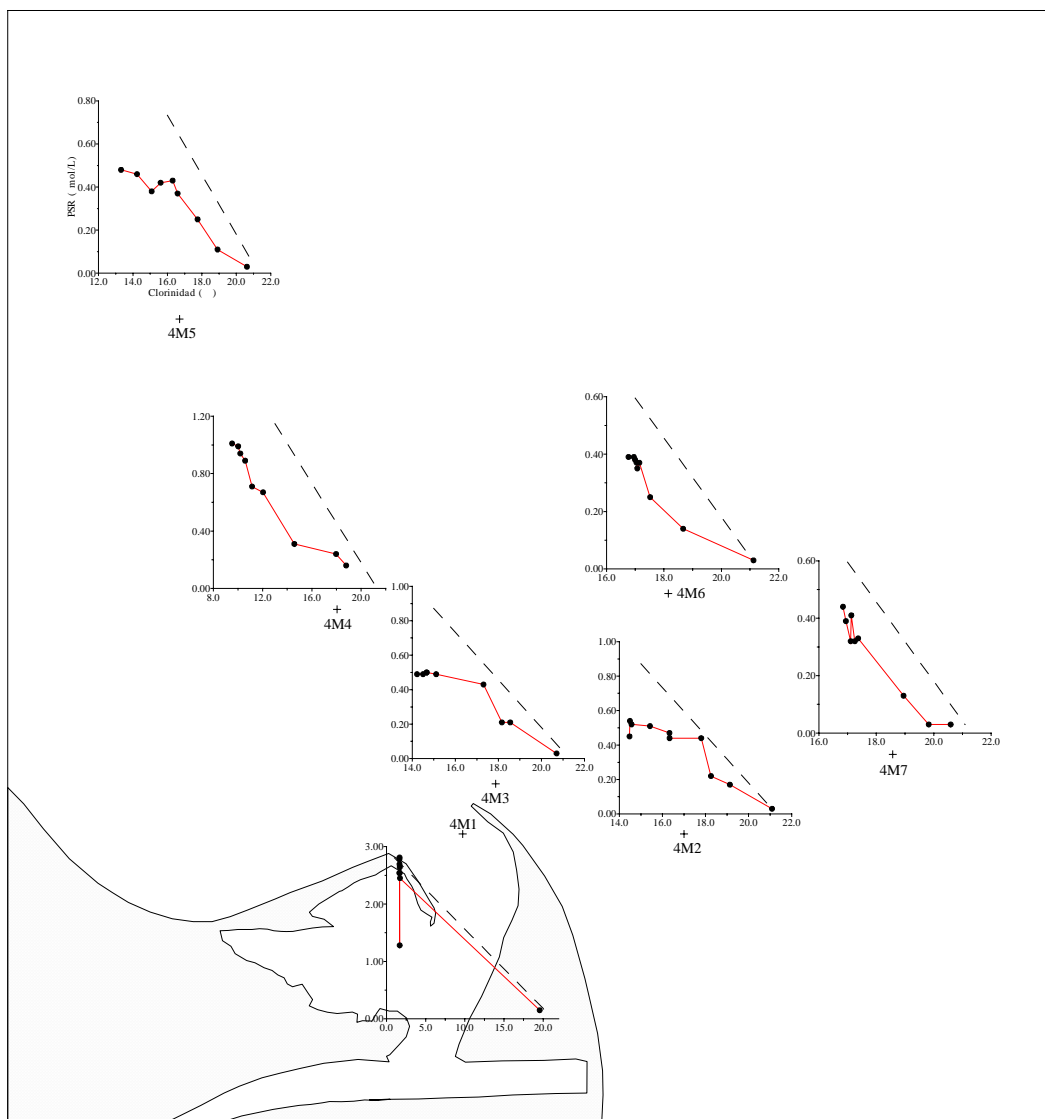


Figura 4.4.30. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 4.

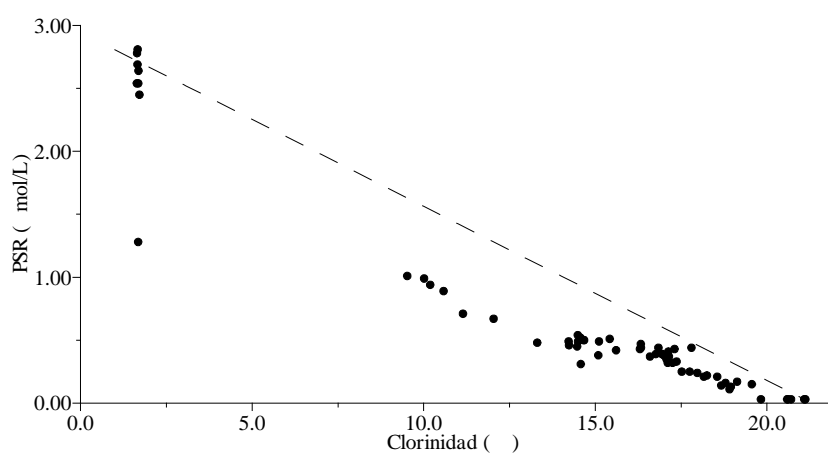


Figura 4.4.31. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 4.

4.4.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

La concentración de fósforo disuelto total (PDT) varía desde un máximo de $2.87 \mu\text{mol/L}$ en la estación 4M1 a 0.50 m de profundidad hasta un mínimo inferior

a $0.03 \mu\text{mol/L}$ en 4M6 a 5.0 m. En la tabla 4.4.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes. Al igual que ocurre con los nutrientes ya estudiados, la mayor concentración de PDT se localiza en la estación de mayor influencia fluvial (4M1), siendo menores las que se encuentran en las estaciones de mayor clorinidad debido a la dilución con las aguas salinas de menor concentración.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	2.87	-0.50	0.25	-3.1
4M4	1.53	-0.05	0.23	-5.0
4M5	0.92	-0.10	0.03	-5.0
4M3	1.13	-0.05	0.08	-5.0
4M2	0.90	0.00	0.27	-5.0
4M6	0.67	-0.05	<0.03	-5.0
4M7	0.50	-0.50	0.04	-5.0

Tabla 4.4.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

Esto mismo se observa en las figuras 4.4.32 y 4.4.33, donde se representan las distribuciones horizontal y vertical.

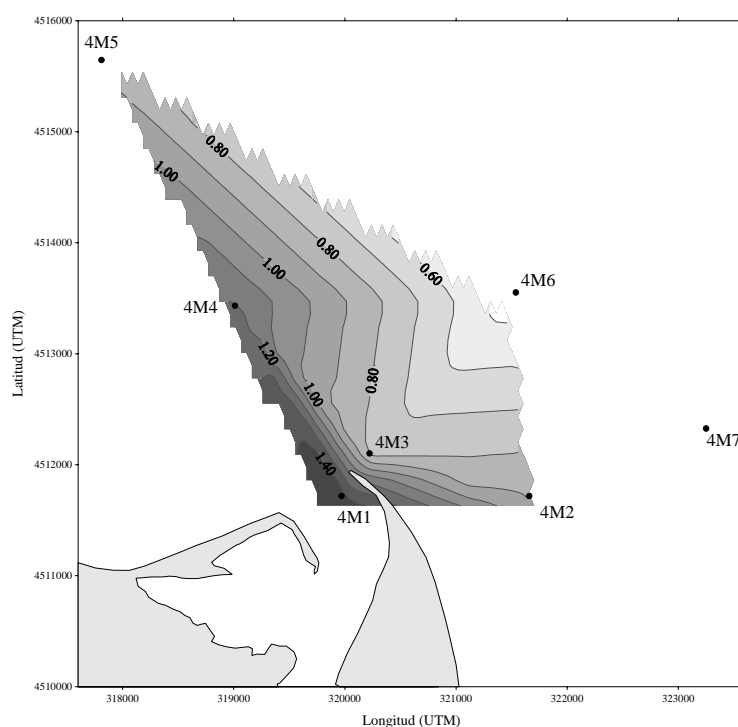


Figura 4.4.32. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 4.

La inexistencia de la concentración a 0.00 m de la estación 4M7 provoca la distribución mostrada en esta figura 4.4.32, aunque llega a apreciarse la disminución de las concentraciones al alejarnos de la boca del río Ebro.

En la figura 4.4.33, donde se muestra el corte vertical del transecto 4M5-4M2, se puede comprobar también la esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad.

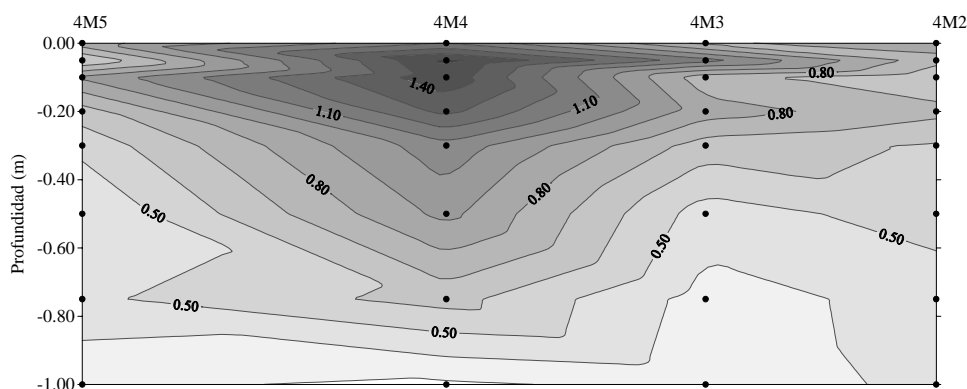


Figura 4.4.33. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

En general la concentración va disminuyendo al aumentar la profundidad, pero en algunas estaciones se encuentran desviaciones de esta pauta general, como se aprecia con más detalle en la figura 4.4.34, donde se representan los perfiles en cada una de las estaciones.

- Las desviaciones suelen producirse en la capa más superficial, hasta unos 20 cm, como ocurría con el PSR.
- En las capas más profundas también se encuentran algunos picos, como los que se dan en 4M7 a 0.50 m, 4M6 a 0.75 y en 4M5 a 0.75 m, aunque son de menor magnitud.

Estos perfiles de PDT son en general bastante diferentes a los que se han encontrado para el PSR (figura 4.4.29), lo que nos lleva a pensar que estas variaciones de la pauta general de disminución podrían ser achacadas a cambios en las concentraciones de las formas orgánicas disueltas más que al PSR. Sólo hay una excepción, y es la estación de mayor influencia fluvial (4M1), donde ambos perfiles son idénticos y además las concentraciones son muy similares, lo que implica que en esta estación no hay gran cantidad de POD, y si la hay sería en cantidades despreciables.

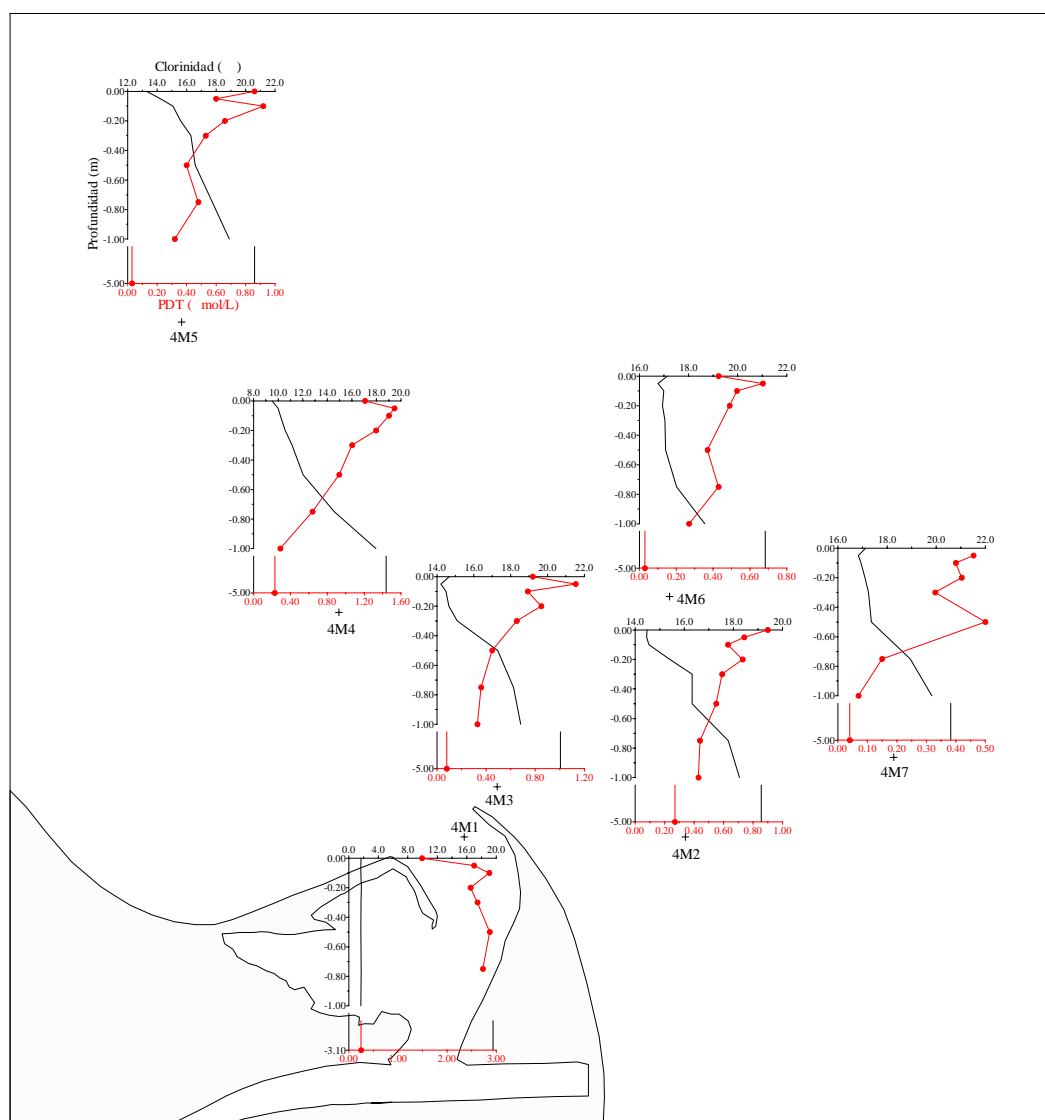


Figura 4.4.34. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 4.

En la figura 4.4.35 se muestra el comportamiento del PDT en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones. Se observa que en todas ellas las concentraciones disminuyen al aumentar la clorinidad. Al igual que ocurría con el PSR, el comportamiento general es de pérdidas, achacables en principio a una predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre otros procesos que aumentarían su concentración.

El comportamiento global en la pluma estuarina se representa en la figura 4.4.36, donde vemos que igual que ocurría con el PSR (figura 4.4.31) todas las muestras quedan por debajo de la línea de mezcla ideal, al predominar la absorción fitoplanctónica.

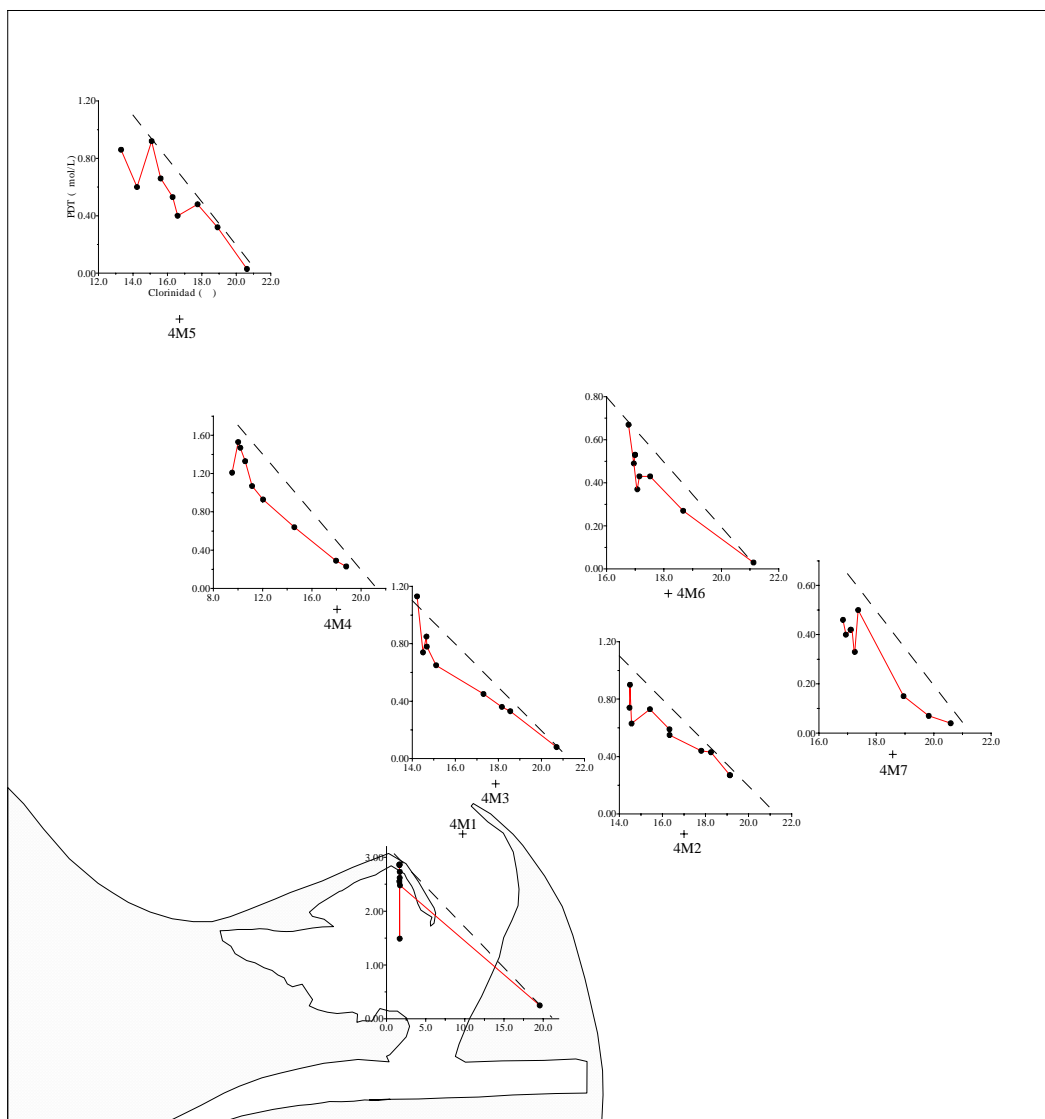


Figura 4.2.35. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 2.

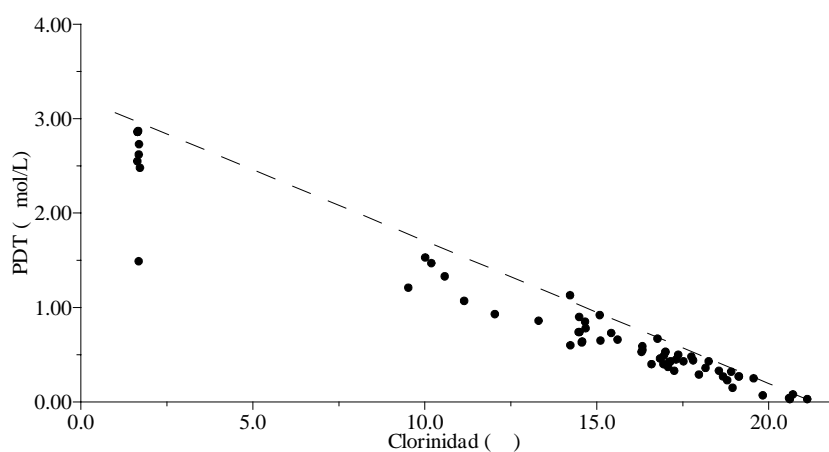


Figura 4.4.36. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 4.

4.4.9.- Fósforo Total (PT)

La concentración de PT posee un rango de variación desde un máximo de 3.40 $\mu\text{mol/L}$ localizado en 4M1 a 10 cm de profundidad, hasta un mínimo de 0.06

$\mu\text{mol/L}$ a 12.5 m en 4M2. En la tabla 4.4.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes. Los mayores valores de PT se localizan como en el resto de nutrientes en la estación más cercana a la boca del río Ebro, 4M1, disminuyendo éstos al hacerlo la influencia continental, tanto en la escala horizontal como en la vertical.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	3.40	-0.10	0.22	-3.1
4M4	1.59	-0.20, -0.30	0.38	-5.0
4M5	1.85	-0.05	0.13	-5.0
4M3	1.15	-0.05	0.09	-5.0
4M2	1.23	0.00	0.06	-12.5
4M6	0.99	-0.05	0.42	-5.0
4M7	1.00	-0.10	0.20	-1.00

Tabla 4.4.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

En la figura 4.4.37 queda patente la progresiva disminución de la concentración de PT al alejarnos de la boca del río Ebro, siguiendo como era de esperar un comportamiento contrario a la clorinidad.

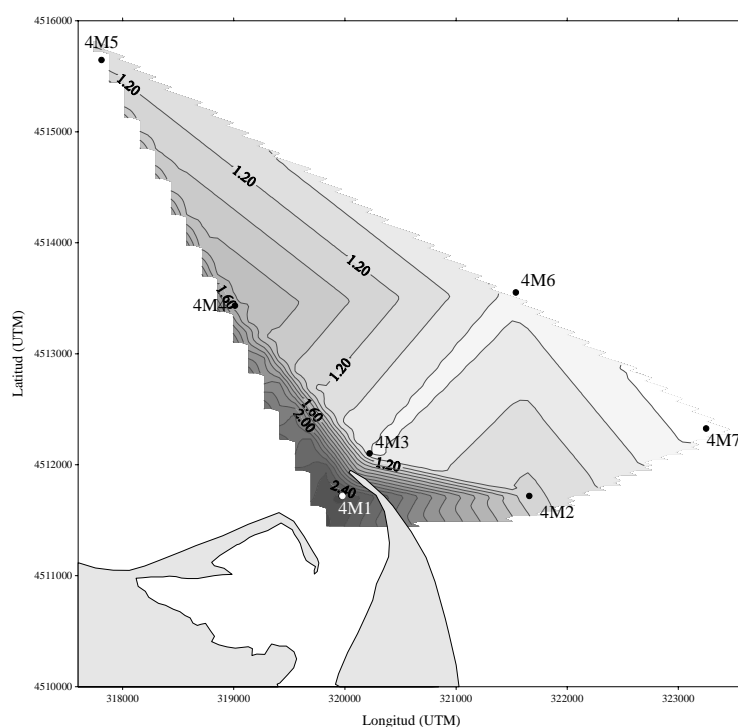


Figura 4.4.37. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 4.

La disminución de la concentración de PT al aumentar la profundidad se aprecia en la figura 4.4.38, con desviaciones en el nivel más superficial.

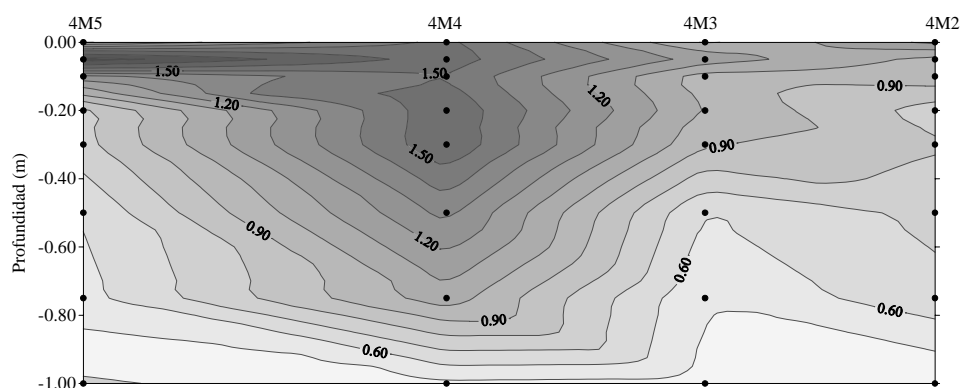


Figura 4.4.38. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

Estas desviaciones de la pauta general de disminución quedan detalladas en la figura 4.4.39, donde se muestra los perfiles para cada una de las estaciones.

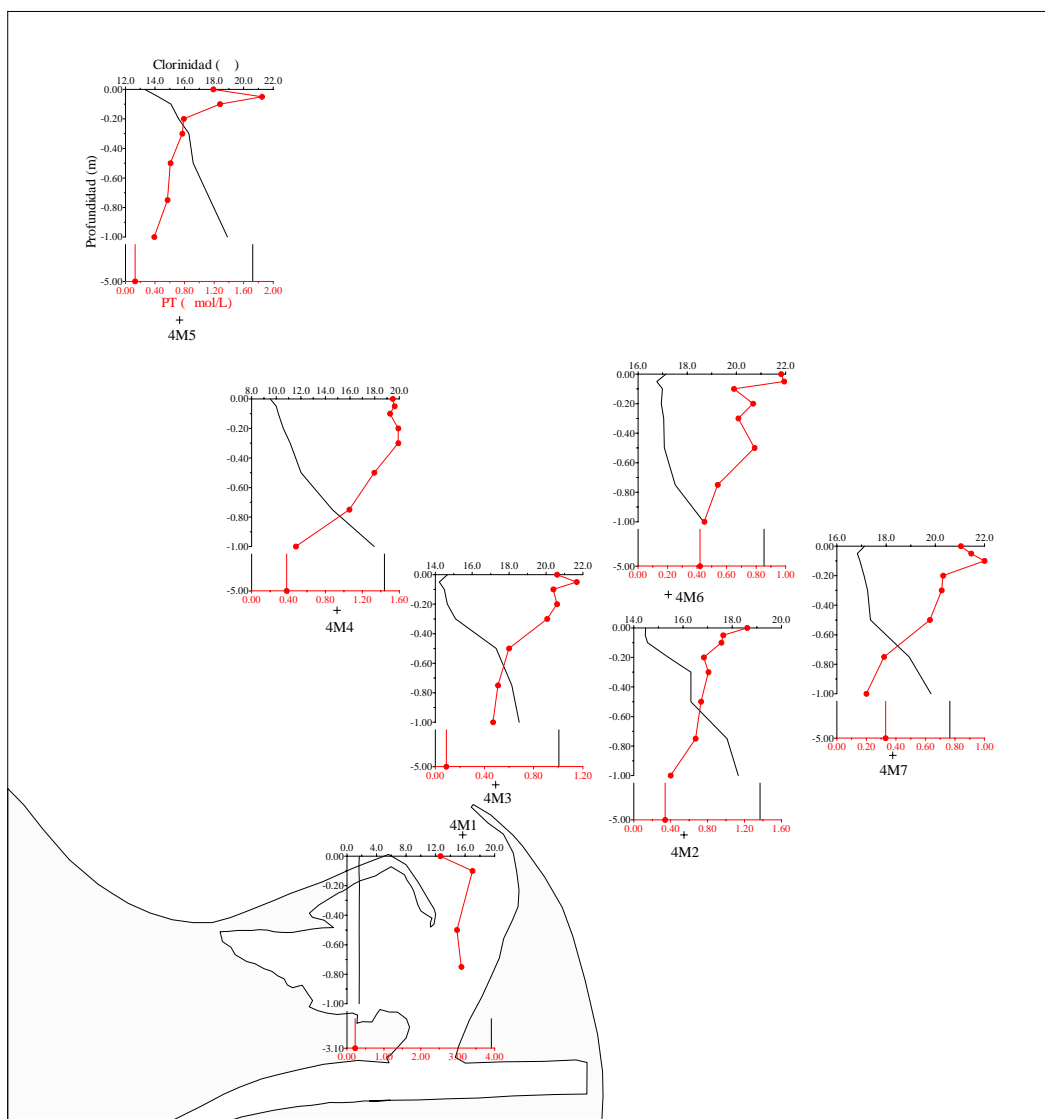


Figura 4.4.39. Perfiles verticales de PT. Muestreo 4.

Si recordamos los perfiles encontrados para el PDT (figura 4.4.34) observamos que sólo dos estaciones (4M1 y 4M3) tienen perfiles similares entre PDT y PT, lo que implica que los cambios producidos en este PT son debidos casi exclusivamente al PDT y no al PP. En cambio en el resto de estaciones ocurre lo contrario, teniendo más peso el PP que el PDT en los perfiles del PT. Las desviaciones más relevantes se dan de nuevo en las capas más superficiales (en los 20 cm superiores de la columna de agua) de todas las estaciones y a mayor profundidad en algunas de ellas (4M6 a 0.50 m y 4M7 a 5.0 m) y son debidos a aumentos o disminuciones en las concentraciones de PDT y/o de PP.

La variación del PT con la clorinidad en cada una de las estaciones se muestra en la figura 4.4.40.

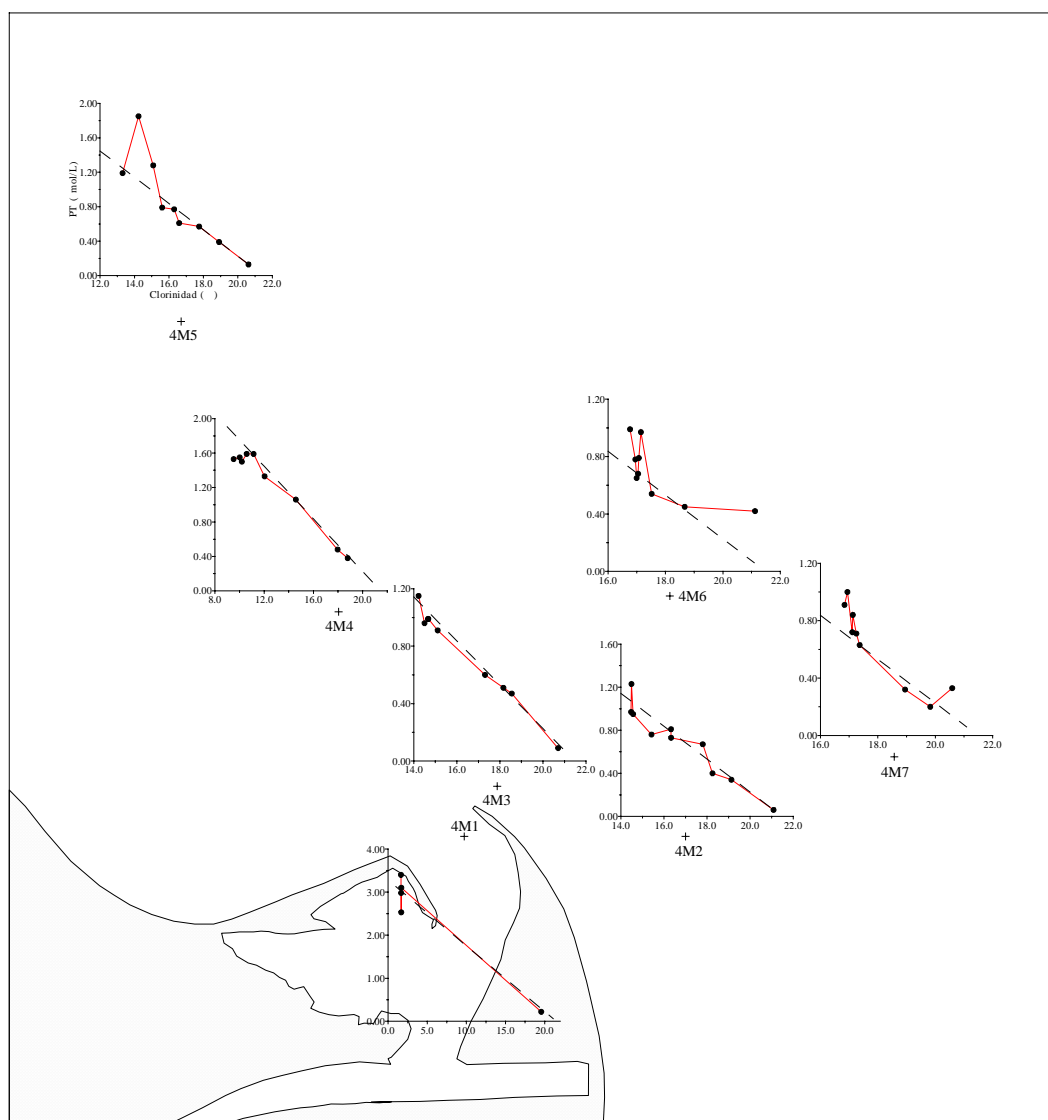


Figura 4.4.40. Variación de la concentración de PT con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 4.

En general las concentraciones de PT disminuyen de manera lineal al aumentar la clorinidad en todas las estaciones, encontrando algunas pequeñas desviaciones de esta linealidad. Éstas generalmente se producen a menor clorinidad en todas las estaciones y en 4M6 y 4M7 también a mayor clorinidad. Por lo tanto, puede decirse que el PT va disminuyendo de manera que los procesos que aportan fósforo a la columna de agua están compensados con aquellos que lo eliminan.

Así se comprueba más claramente en la figura 4.4.41, donde todas las muestras quedan muy cercanas a la línea de mezcla ideal, aunque se pueden localizar un pequeño número de muestras cuya concentración es mayor o menor de lo esperado. Esto nos confirma que la absorción del fitoplancton provoca las pérdidas encontradas en las formas disueltas, pues éstas pasan a fósforo particulado y provocan que el PT disminuya linealmente con la clorinidad.

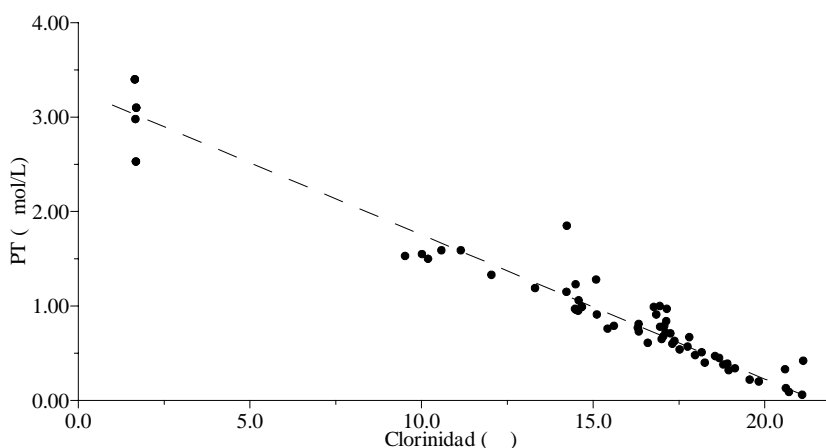


Figura 4.4.41. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 4.

4.4.10.- Ácido Ortosilícico

La concentración de ácido ortosilícico en este muestreo posee un rango de variación desde un máximo de 120.0 $\mu\text{mol/L}$ a 0.00 m de profundidad en la estación 4M1 hasta un mínimo con un valor de 1.5 $\mu\text{mol/L}$ en 4M6 a 5.0 m. En la tabla 4.4.10 se muestra los valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones. Las mayores concentraciones se localizan en la de mayor influencia fluvial (4M1), como ocurre con los restantes nutrientes, disminuyendo éstas conforme lo hace la influencia continental. Al igual que ocurría con los muestreos de julio, en éste no se encuentran valores inferiores al límite de

detección del método analítico, lo que nos lleva a pensar que este nutriente no llega a agotarse en la pluma estuarina.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
4M1	120.0	0.00	8.7	-3.1
4M4	61.5	0.00	11.0	-5.0
4M5	39.8	0.00	3.9	-5.0
4M3	35.0	-0.05	4.2	-5.0
4M2	35.8	-0.05	2.0	-12.5
4M6	22.5	-0.05	1.5	-5.0
4M7	22.0	-0.05	3.6	-5.0

Tabla 4.4.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

La esperada disminución con la clorinidad y profundidad queda patente en la figura 4.4.42, donde se representa la distribución horizontal a 0.00 m de profundidad, y en la figura 4.4.43 donde se muestra la distribución vertical obtenida en el transecto 4M5-4M2.

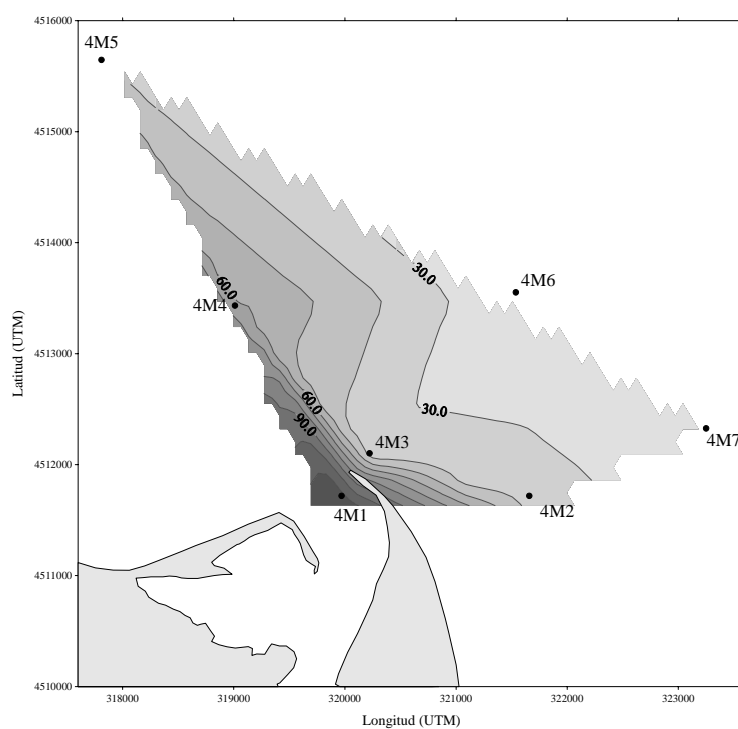


Figura 4.4.42. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 4.

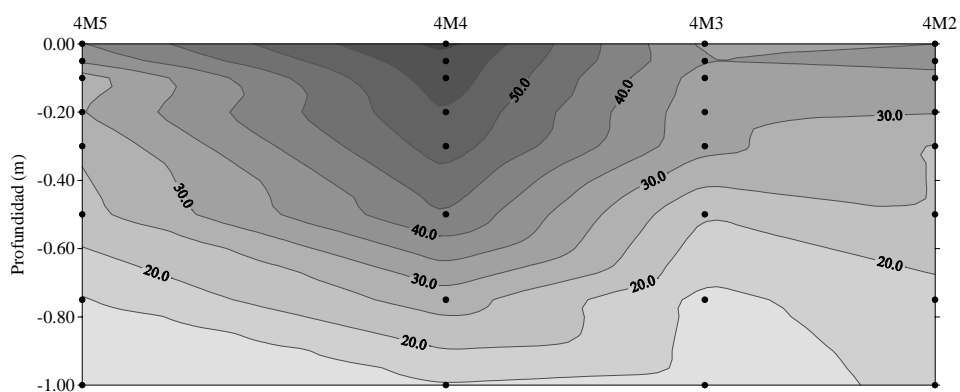


Figura 4.4.43. Distribución espacial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

La concentración de este nutriente disminuye gradualmente con la profundidad como se observa en esta figura 4.4.43, pero podemos encontrar diversas variaciones en algunas estaciones, como se muestra en la figura 4.4.44, donde se ha representado los perfiles en cada una de ellas.

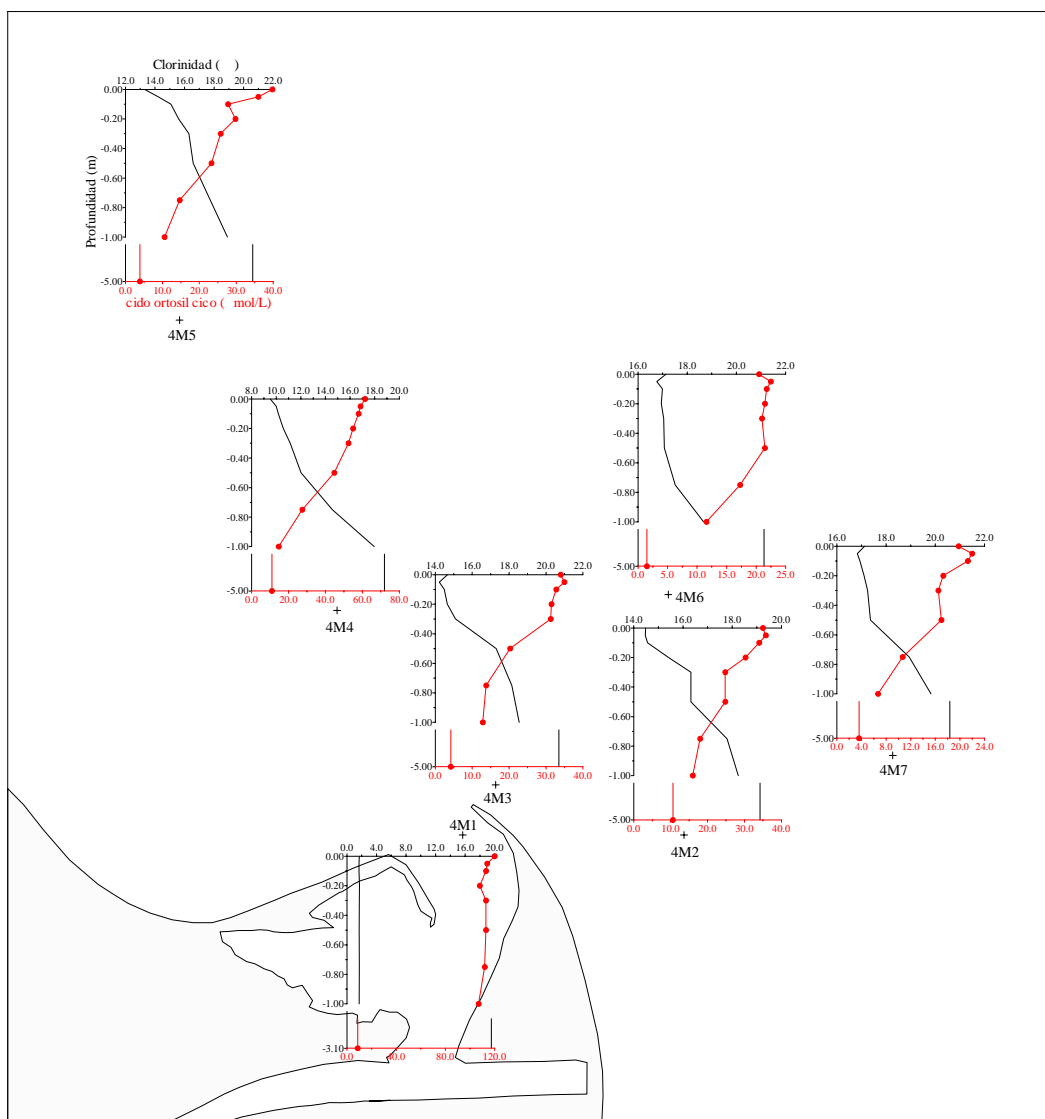


Figura 4.4.44. Perfiles verticales de ácido ortosilícico. Muestreo 4.

Se encuentran desviaciones en las estaciones 4M3, 4M2, 4M6 y 4M7 a nivel superficial pero son de pequeña magnitud pues se deben a las variaciones superficiales de la clorinidad. En la estación 4M1 vemos que el ácido ortosilícico se mantiene aproximadamente constante en el primer metro de la columna de agua, igual que ocurre con la clorinidad. De hecho, la mayoría de los perfiles encontrados en cada una de las estaciones (figura 4.4.44) son aproximadamente una “imagen especular” de los perfiles de clorinidad, lo que nos lleva a pensar que probablemente este nutriente se comporte de manera aproximadamente conservativa, como posteriormente veremos.

En la figura 4.4.45 se muestra el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina en cada una de las estaciones.

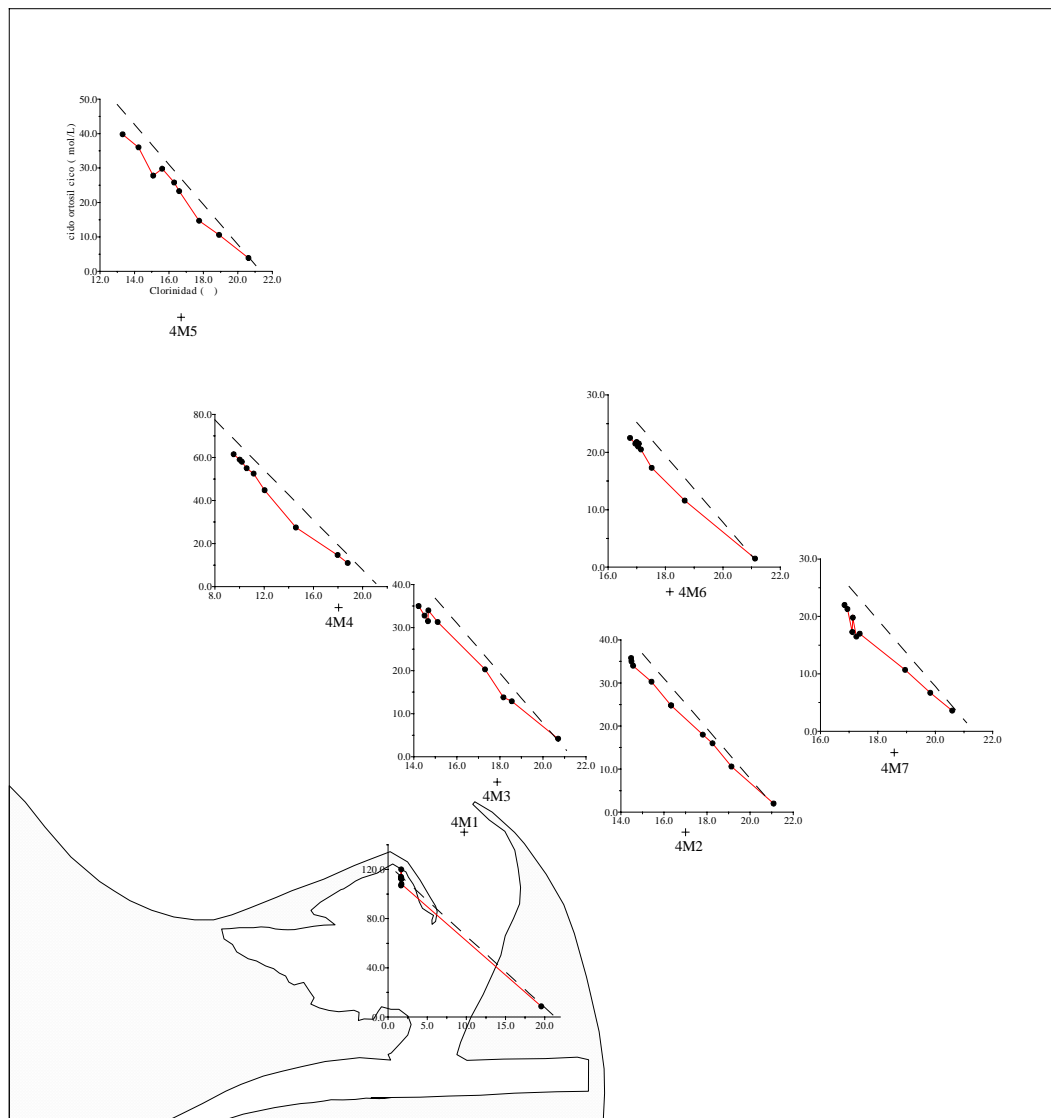


Figura 4.4.45. Comportamiento del ác. ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 4.

Como era de esperar, el ácido ortosilícico disminuye gradualmente al aumentar la clorinidad. En la estación de mayor influencia fluvial (4M1) este nutriente se comporta de manera conservativa, pues los procesos que aportan ácido ortosilícico a la columna de agua se ven compensados por aquellos que lo disminuyen. En principio no parece ocurrir lo mismo en el resto de estaciones, donde se aprecian muy ligeras pérdidas en todas ellas, pérdidas achacables probablemente a la absorción por diatomeas, aunque la inexistencia de valores cercanos al agotamiento en todas las estaciones nos lleva a pensar que no existe una floración importante de diatomeas. Pero podemos observar que los valores de este nutriente disminuyen linealmente en cada una de las estaciones, lo que nos vuelve a confirmar la problemática de la elección del extremo dulce de la línea de mezcla ideal. Esto último puede ser confirmado observando la figura 4.4.46, donde se representa el comportamiento global en la pluma estuarina.

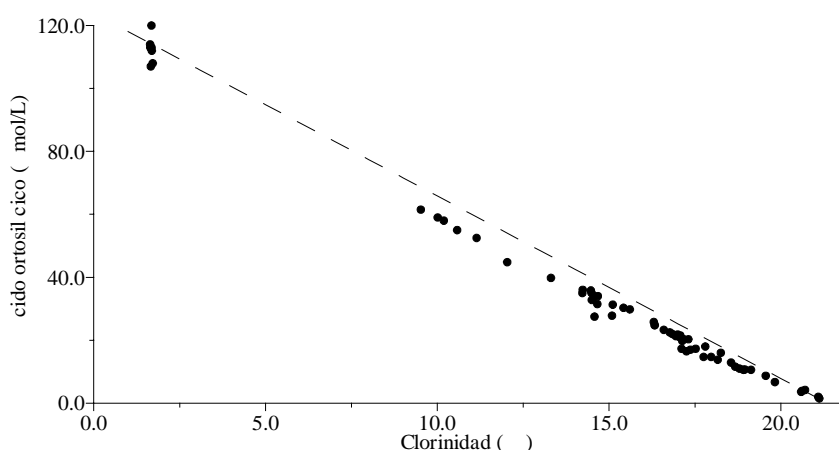


Figura 4.4.46. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 4.

Se observa que este nutriente posee un comportamiento bastante conservativo si nos fijamos en la linealidad de las muestras, pero observando la línea de mezcla ideal de origen fluvial llegan a apreciarse ligeras pérdidas debidas a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida.

4.4.11.- Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* posee un rango de variación desde un valor máximo de 7.42 $\mu\text{g/L}$ a la profundidad de 0.10 m en la estación 4M1 hasta un mínimo inferior a 0.20 $\mu\text{g/L}$ a 5.0 m en 4M6. En la tabla 4.4.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila *a* encontrados para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes. Como era de esperar y como ocurría en otros

muestreos, las mayores concentraciones de clorofila *a* se localizan en la estación de mayor influencia fluvial (4M1), disminuyendo conforme lo hace ésta. Los mayores valores suelen localizarse a profundidades intermedias, mientras que los menores lo hacen a las mayores profundidades (excepto en 4M3).

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)
4M1	7.42	-0.10	3.46	-3.1
4M4	2.83	-0.05	1.62	-5.0
4M5	1.54	-0.75	0.66	-5.0
4M3	2.41	-0.10	1.29	-0.50
4M2	1.86	-0.50	0.46	-12.5
4M6	1.92	-0.20	<0.20	-5.0
4M7	2.82	-0.20	0.46	-5.0

Tabla 4.4.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

En la figura 4.4.47, donde se muestra la distribución superficial, se observa lo mismo que se vio con los nutrientes, la concentración de clorofila *a* disminuye al hacerlo la influencia continental.

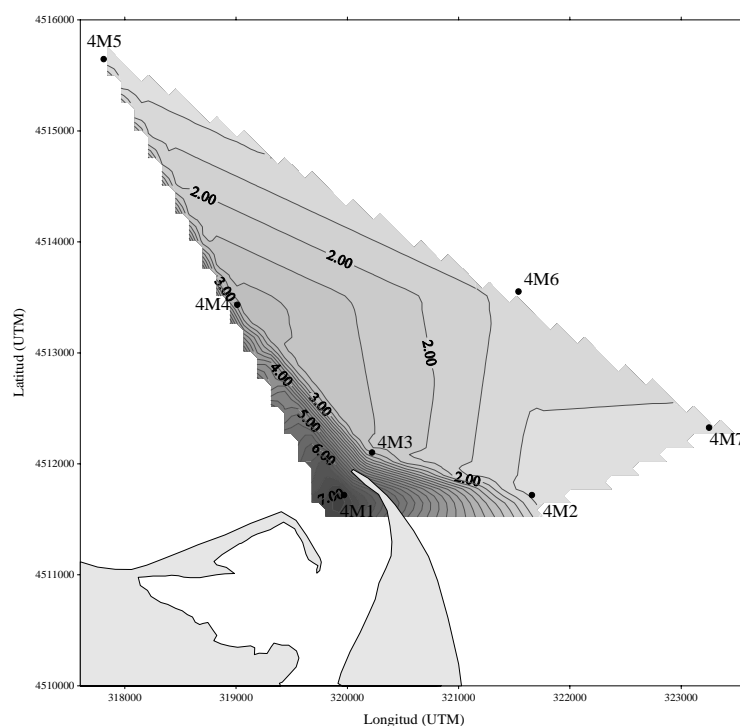


Figura 4.4.47. Distribución superficial de clorofila *a* (µg/L). Muestreo 4.

Del mismo modo, estas concentraciones también disminuyen al aumentar la profundidad, como se muestra en la figura 4.4.48, observándose diversas variaciones de esta pauta general en algunas estaciones a diferentes profundidades (4M3 y 4M2).

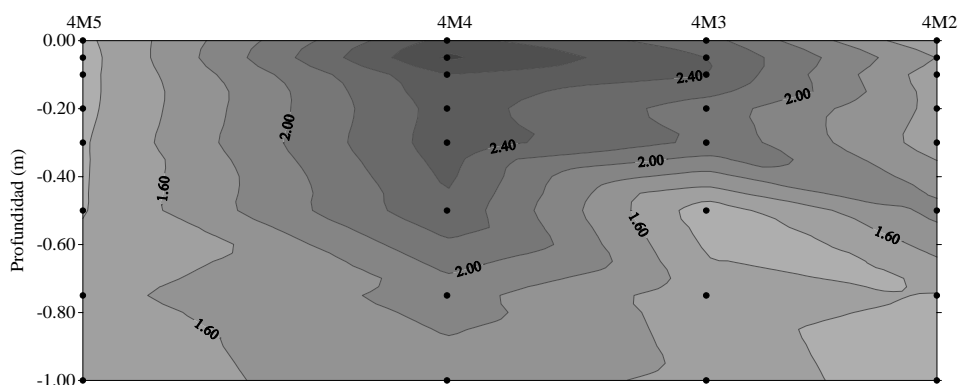


Figura 4.4.48. Distribución espacial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 4M5-4M2.

En la figura 4.4.49 se representa con mayor detalle los perfiles encontrados en cada una de las estaciones. Aunque la pauta general es de disminuir al aumentar la profundidad, en todas las estaciones encontramos variaciones de diferente magnitud en dos zonas diferenciadas:

- En la capa más superficial se dan pequeñas variaciones de la pauta mencionada, destacando en superficie menores concentraciones en la mayoría de las estaciones debido, en la mayor parte de los casos, a la entrada de agua marina en esta zona al ser arrastrada por el viento. De todas maneras, tanto en estos casos como en los otros en los que no se da esta entrada (4M4), no hay que desechar el efecto dañino de los rayos UV en los primeros centímetros de la columna de agua.

- En niveles intermedios se detectan picos secundarios de magnitud algo mayor (4M2 y 4M7).

- Cabe señalar la existencia de una cierta constancia en las concentraciones de tres estaciones en el primer metro de la columna de agua (4M1, 4M5 y 4M6). La primera de ellas por que también lo es la clorinidad mientras que las otras dos (especialmente 4M6) presentan una mayor homogeneidad vertical también en el caso de la clorinidad.

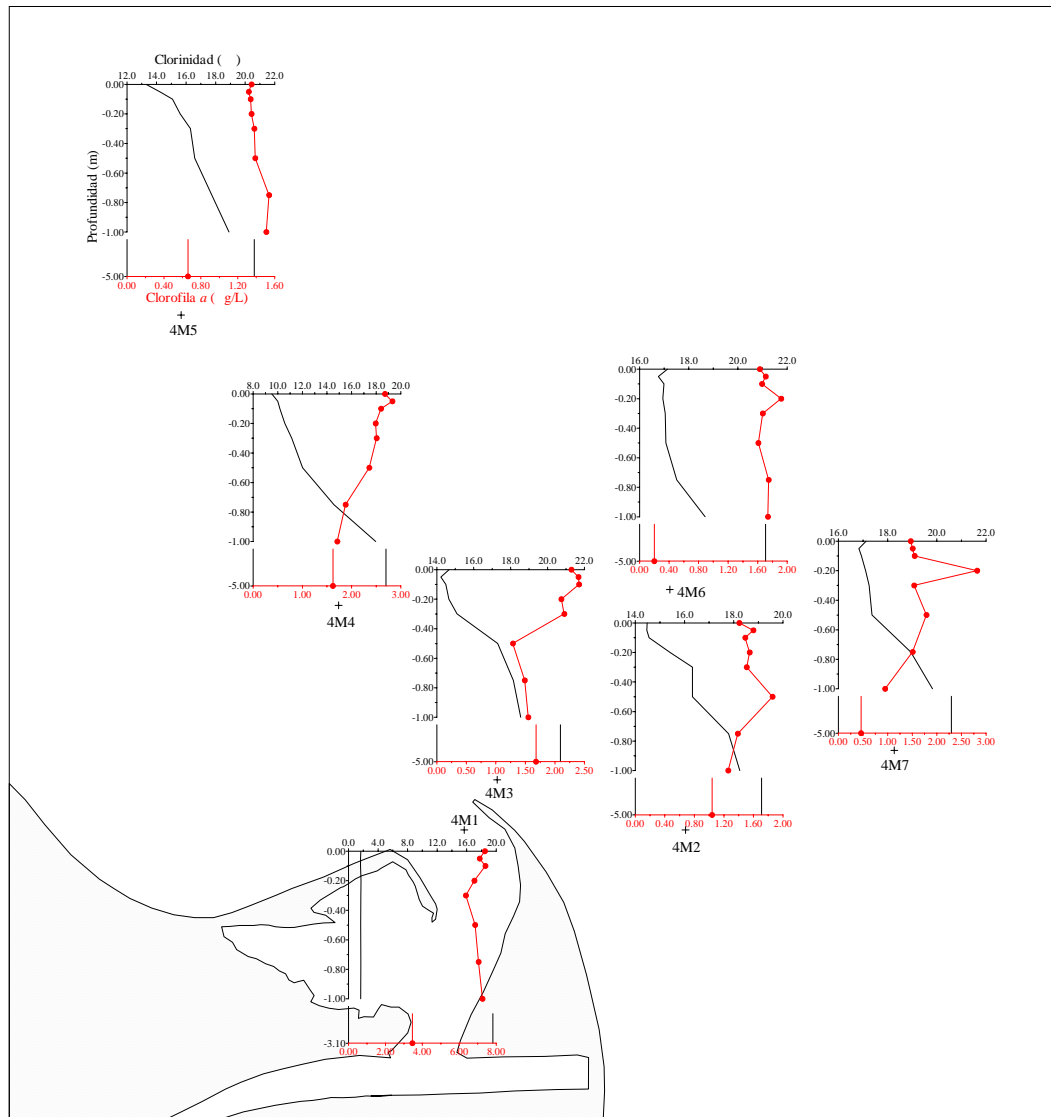


Figura 4.4.49. Perfiles verticales de clorofila *a*. Muestreo 4.

En la figura 4.4.50 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones. Al igual que ocurre en otros muestreos, en todas las estaciones las concentraciones de clorofila *a* disminuyen al aumentar la clorinidad, pero con diversas variaciones. En general en las zonas de menor clorinidad las concentraciones quedan por debajo de la línea de mezcla de origen fluvial, indicando una disminución del número de células fitoplanctónicas, por el denominado estrés salino, por el consumo por parte del zooplancton, por una disminución de la fotosíntesis, etc. En cambio a mayores clorinidades la comunidad fitoplanctónica parece recuperarse del shock salino y alcanza los niveles que cabía esperar del proceso de mezcla, situándose en la misma línea o en la parte superior.

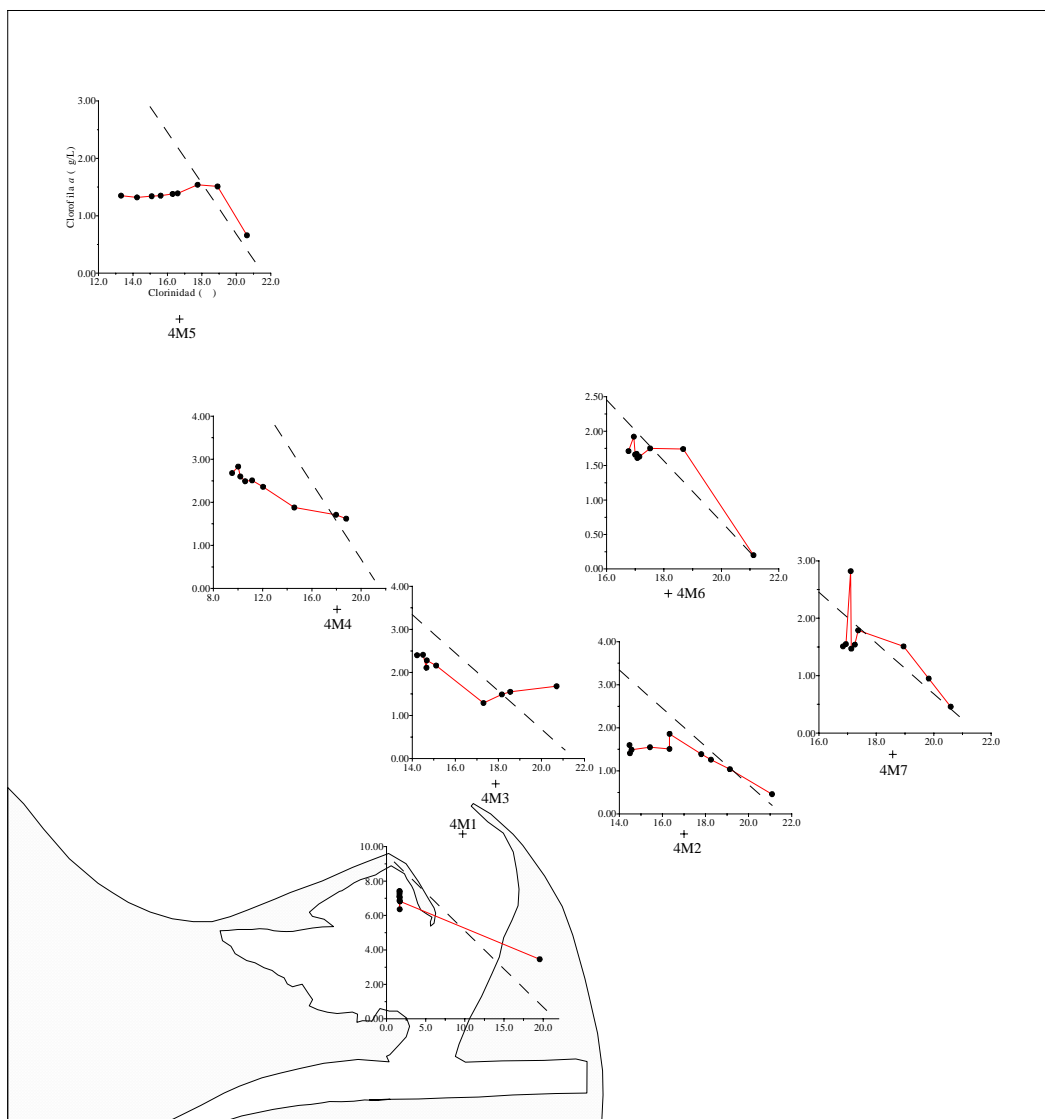


Figura 4.4.50. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en el proceso de mezcla.
Muestreo 4.

Como ya hemos visto anteriormente, y como se muestra en la figura 4.4.51, en todo el cuerpo de la pluma la concentración de clorofila *a* disminuye al aumentar la clorinidad, pero encontramos que hasta una clorinidad aproximada de 17‰ estas concentraciones son menores de lo que sería de esperar por la mezcla física entre dos masas de agua de diferente concentración, debido a una disminución del número de células fitoplanctónicas, por el estrés salino, por el consumo por parte del zooplancton, por una disminución de la fotosíntesis, etc. Lo contrario ocurre a mayor clorinidad, donde parece que se produce un aumento de la fotosíntesis provocando el aumento de las concentraciones.

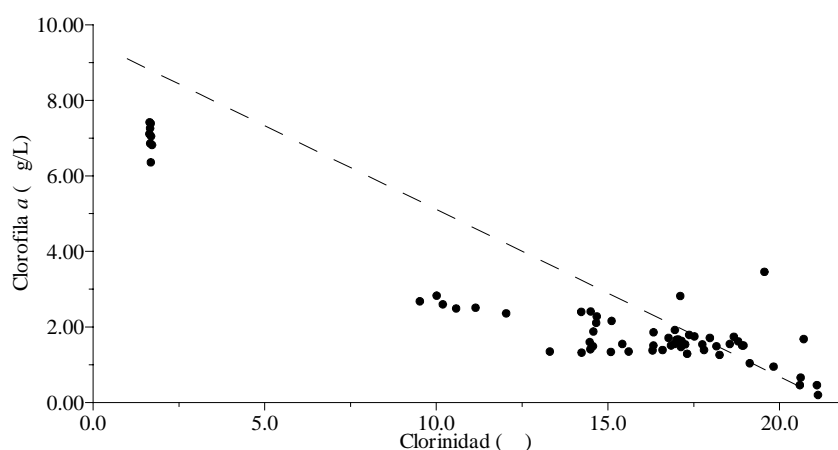


Figura 4.4.51. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 4.

4.4.12.- Relaciones entre nutrientes

a) NID/PSR

La relación NID/PSR posee un rango de variación desde un valor máximo de 276.7 localizado en la estación 4M7 a 1.00 m de profundidad hasta un mínimo de 14.6 en 4M1 a 0.50 m. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.4.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
4M1	98.4	0.00	14.6	-0.50
4M4	135.5	-0.75	57.5	-0.05
4M5	140.9	-1.00	68.6	-0.50
4M3	>110.0	-5.0	56.0	-0.50
4M2	87.6	0.00	44.1	-0.50
4M6	115.7	-1.00	58.6	-0.30
4M7	276.7	-1.00	60.0	0.00

Tabla 4.4.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

No puede decirse que exista una pauta clara, pues tanto los máximos como los mínimos se localizan a diferentes profundidades, ya que en estos valores influyen tanto los del NID como los de PSR.

En la figura 4.4.52 se representa las variaciones de esta relación con la profundidad para cada una de las estaciones.

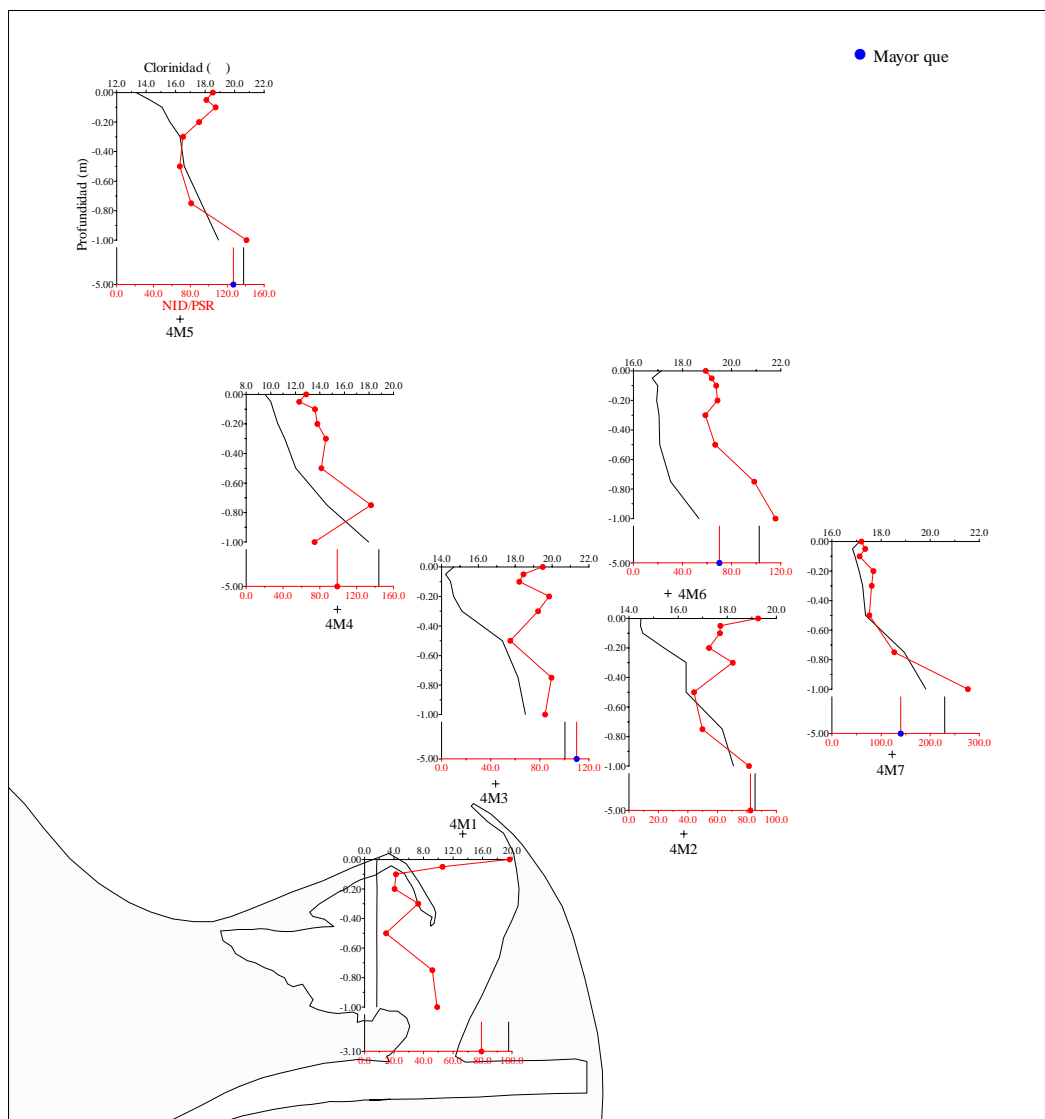


Figura 4.4.52. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 4.

Ante todo se ha de resaltar los pocos valores que son “mayores que” debido a la poca cantidad de muestras donde el PSR está por debajo del límite de detección del método analítico. Al igual que ocurre en otros muestreos, no puede decirse que exista una pauta general con la profundidad, pues en todas las estaciones se encuentran picos a diferentes profundidades, que dependen de los valores existentes de NID y PSR. Generalmente a las menores profundidades, los perfiles de esta relación son más similares a los del NID (figura 4.4.24) que a los del PSR (figura 4.4.29) debido a los mayores valores del nitrógeno inorgánico disuelto respecto al fósforo. En cambio, a mayores profundidades la gran disminución de las concentraciones de PSR provoca un aumento de esta relación.

En la figura 4.4.53 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad, donde se observa la poca cantidad de muestras “mayores que” el valor especificado debido a los pocos valores de PSR menores de $0.03 \mu\text{mol/L}$. Los valores de NID/PSR son todos mayores de 20 (excepto una sola muestra que se corresponde con la estación 4M1 a 50 cm de profundidad) debido a las bajas concentraciones de PSR encontradas, por lo que podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante

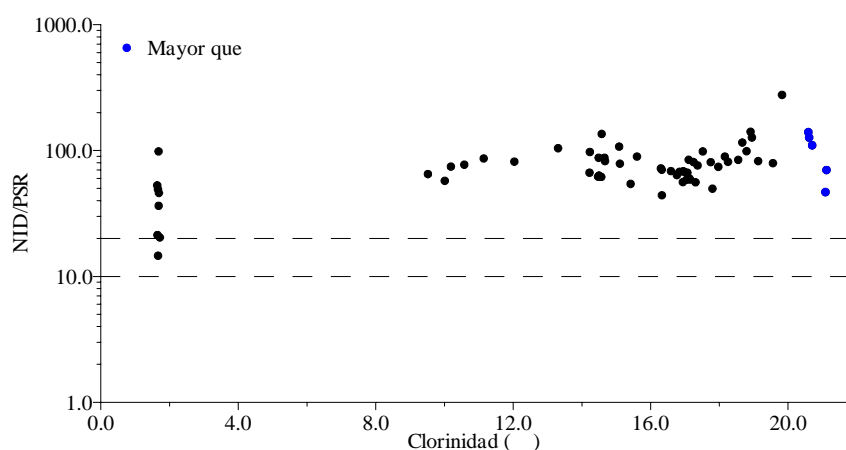


Figura 4.4.53. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 4.

b) NID/Ácido ortosilícico

La relación NID/ácido ortosilícico posee un rango de variación desde un máximo de 1.6 localizado en la estación 4M7 a 0.20 y 0.30 m de profundidad hasta un mínimo de 0.4 en 4M1 a 0.50 m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones se muestran en la tabla 4.4.13.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
4M1	1.4	-3.1	0.4	-0.50
4M4	1.5	-0.75	1.0	-0.05
4M5	1.5	-0.10, -1.00	1.0	-5.0
4M3	1.4	-0.20, -0.75, -1.00	0.8	-5.0
4M2	1.4	0.00	0.7	-12.5
4M6	1.4	-0.75, -1.00, -5.0	1.0	-0.30
4M7	1.6	-0.20, -0.30	1.0	-0.10

Tabla 4.4.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 4.

Se ha de destacar los bajos valores encontrados en este muestreo, sobre todo debido a los altos valores de ácido ortosilícico, que no llegan a niveles cercanos al agotamiento en ninguna de las estaciones. Además en la tabla 4.4.13 podemos observar una ausencia total de pauta general tanto en la vertical como en la horizontal, pues los máximos y los mínimos se localizan en cualquier profundidad y además tampoco existe diferencias claras entre estaciones.

En la figura 4.4.54 se ha representado la variación de esta relación con la profundidad.

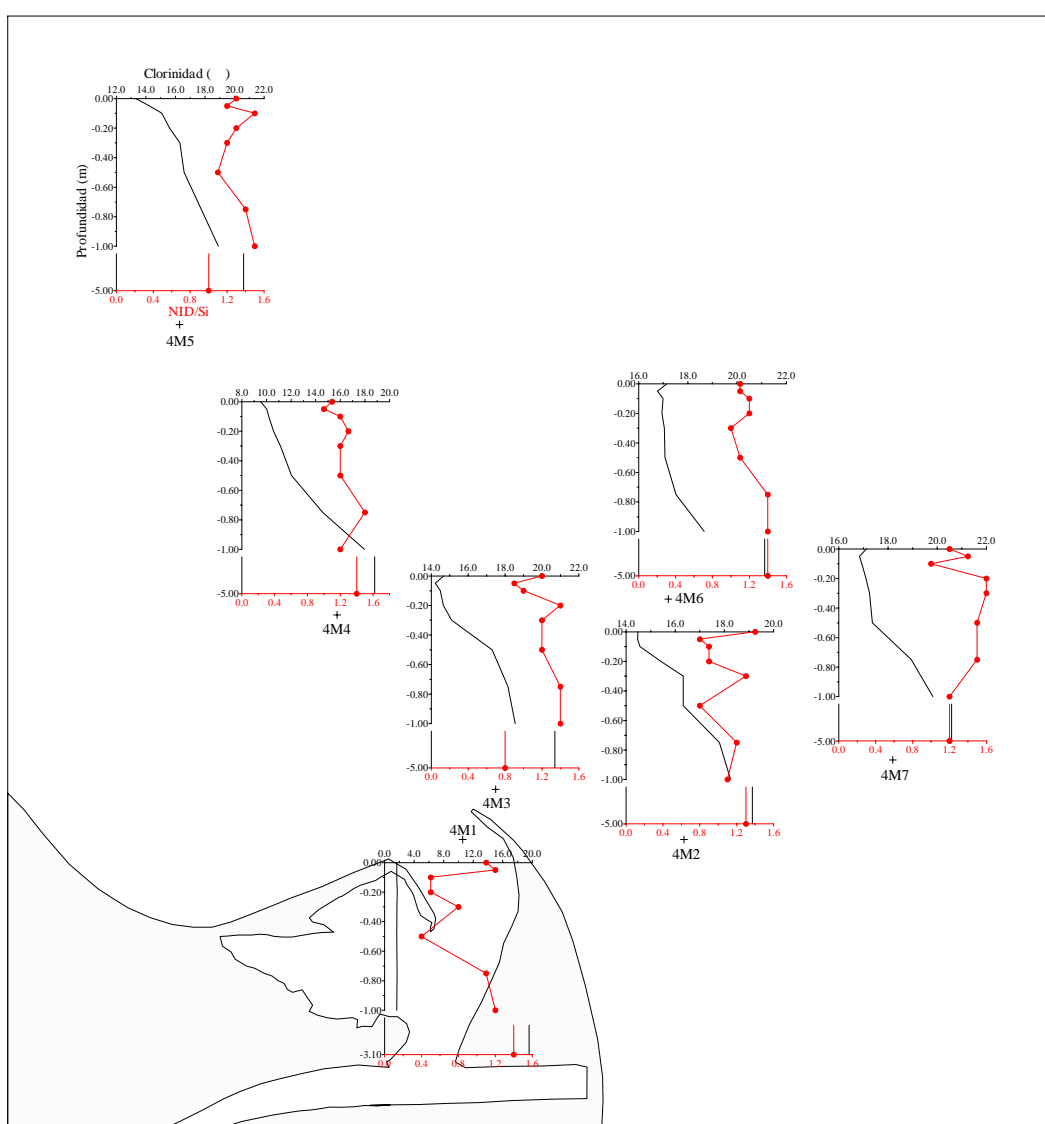


Figura 4.4.54. Perfiles verticales de NID/ácido ortosilícico. Muestreo 4.

A primera vista no se observa ninguna pauta general con la profundidad. Si recordamos los perfiles encontrados para el NID (figura 4.4.24) y para el ácido ortosilícico (figura 4.4.44), vemos que los de esta relación son mucho más

similares a los primeros sobre todo en las capas más superficiales de la columna de agua, excepto para la estación 4M5. En cambio a partir de profundidades en torno a 0.75 m los perfiles de esta relación no se parecen a ninguno de los dos. Esto se debe a que a estas mayores profundidades, ambos nutrientes tienen bajos valores, sobre todo el ácido ortosilícico, lo que hace que esta relación aumente con la profundidad y no disminuya como los nutrientes. Debido al pequeño rango de variación de la relación NID/ácido ortosilícico encontrado, cualquier mínimo cambio en ésta provoca grandes discontinuidades en sus perfiles.

En la figura 4.4.55 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad, donde se observa que en todo el rango de clorinidades se mantiene aproximadamente constante en torno a 1. La excepción son algunas de las muestras de menor clorinidad provenientes de 4M1 y otras de las estaciones 4M4, 4M5, 4M3 y 4M2, que son menores de 1. Esto nos lleva a pensar que aunque en principio el NID no sería el nutriente limitante (la mayoría de valores son mayores de 1), la cercanía de todos ellos al valor de 1 da lugar a que cualquier mínimo cambio en las concentraciones de NID o de ácido ortosilícico varíe el nutriente que limitaría el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas.

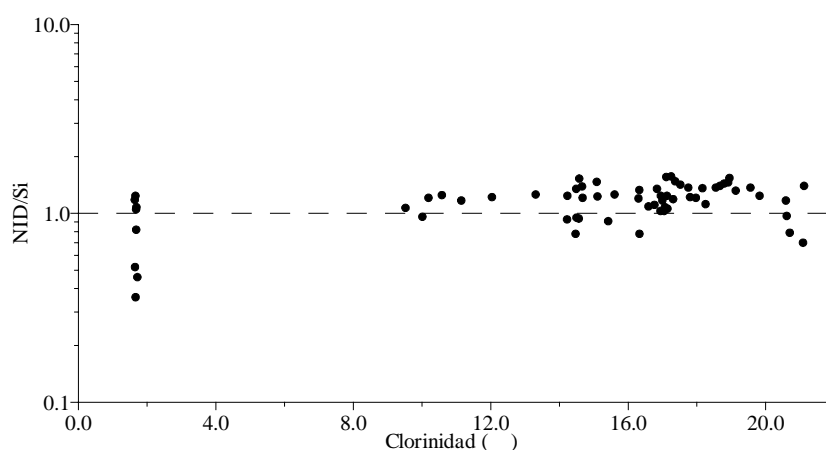


Figura 4.4.55. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 4.

4.4.13.- Tratamiento estadístico

El análisis factorial se ha realizado sobre 9 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*. La matriz de correlación anti-imagen mostrada en la tabla 4.4.14 nos indica que todas son idóneas para el tratamiento estadístico.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	4.035E-03	-4.288E-03	2.461E-03	2.735E-03	2.939E-03	-3.053E-03	2.333E-03	2.605E-03	-4.283E-03
	Amonio	-4.288E-03	6.615E-02	-5.621E-03	2.612E-02	6.789E-03	1.695E-02	2.397E-02	-5.279E-03	-1.555E-02
	Nitrito	2.461E-03	-5.621E-03	5.045E-03	-6.205E-03	1.027E-03	-7.439E-03	-3.393E-03	-8.324E-04	-2.438E-03
	Nitrato	2.735E-03	2.612E-02	-6.205E-03	0.171	2.426E-02	5.307E-02	3.983E-02	-1.861E-03	5.163E-03
	PSR	2.939E-03	6.789E-03	1.027E-03	2.426E-02	5.377E-02	-1.987E-02	3.563E-02	-1.045E-03	-2.570E-02
	PDT	-3.053E-03	1.695E-02	-7.439E-03	5.307E-02	-1.987E-02	9.594E-02	-3.234E-02	-2.218E-03	1.812E-02
	PT	2.333E-03	2.397E-02	-3.393E-03	3.983E-02	3.563E-02	-3.234E-02	0.323	-2.335E-03	1.108E-02
	Ác. ortosil	2.605E-03	-5.279E-03	-8.324E-04	-1.861E-03	-1.045E-03	-2.218E-03	-2.335E-03	4.475E-03	-4.740E-03
	Clorofila	-4.283E-03	-1.555E-02	-2.438E-03	5.163E-03	-2.570E-02	1.812E-02	1.108E-02	-4.740E-03	7.717E-02
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.885</u>	-0.262	0.546	0.104	0.200	-0.155	6.467E-02	0.613	-0.243
	Amonio	-0.262	<u>0.932</u>	-0.308	0.246	0.114	0.213	0.164	-0.307	-0.218
	Nitrito	0.546	-0.308	<u>0.918</u>	-0.211	6.239E-02	-0.338	-8.412E-02	-0.175	-0.124
	Nitrato	0.104	0.246	-0.211	<u>0.925</u>	0.253	0.414	0.170	-6.730E-02	4.496E-02
	PSR	0.200	0.114	6.239E-02	0.253	<u>0.936</u>	-0.277	0.271	-6.736E-02	-0.399
	PDT	-0.155	0.213	-0.338	0.414	-0.277	<u>0.918</u>	-0.184	-0.107	0.211
	PT	6.467E-02	0.164	-8.412E-02	0.170	0.271	-0.184	<u>0.958</u>	-6.146E-02	7.022E-02
	Ác. ortosil	0.613	-0.307	-0.175	-6.730E-02	-6.736E-02	-0.107	-6.146E-02	<u>0.920</u>	-0.255
	Clorofila	-0.243	-0.218	-0.124	4.496E-02	-0.399	0.211	7.022E-02	-0.255	<u>0.939</u>

Tabla 4.4.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 4.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.923, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Maravilloso”. Este análisis nos reduce estas 9 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 87.729% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.4.15. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.896	87.729	87.729
2	0.457	5.075	92.804
3	0.347	3.856	96.660
4	0.140	1.551	98.211
5	7.814E-02	0.868	99.079
6	4.819E-02	0.535	99.614
7	2.818E-02	0.313	99.928
8	4.070E-03	4.522E-02	99.973
9	2.448E-03	2.720E-02	100.000

Tabla 4.4.15. Varianza total explicada.

La matriz del componente extraído se muestra en la tabla 4.4.16. Los aportes continentales juegan un papel fundamental en la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados están inversamente relacionados con la clorinidad.

	Componente 1
Clorinidad	-0.994
Amonio	0.953
Nitrito	0.995
Nitrato	0.846
PSR	0.961
PDT	0.926
PT	0.793
Ácido ortosili.	0.995
Clorofila	0.945

Tabla 4.4.16. Matriz de componentes para el muestreo 4.

4.5.- Muestreo 5 (9 octubre 1999)

4.5.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

En este muestreo realizado el 9 de octubre de 1999 se recogió un total de 72 muestras repartidas entre 8 estaciones. Las condiciones meteorológicas no variaron prácticamente durante las horas de muestreo (11:00-17:05 GMT, aproximadamente). Las temperaturas mínimas y máximas estuvieron comprendidas entre 11-16°C y 22-27°C, respectivamente, según los datos meteorológicos proporcionados por la Generalitat de Catalunya. En la figura 4.5.1 se representa la dirección y velocidad del viento predominante durante las horas en las que se realizó el muestreo, con datos provenientes de las estaciones meteorológicas de L'Ampolla y de Sant Carles de la Ràpita.

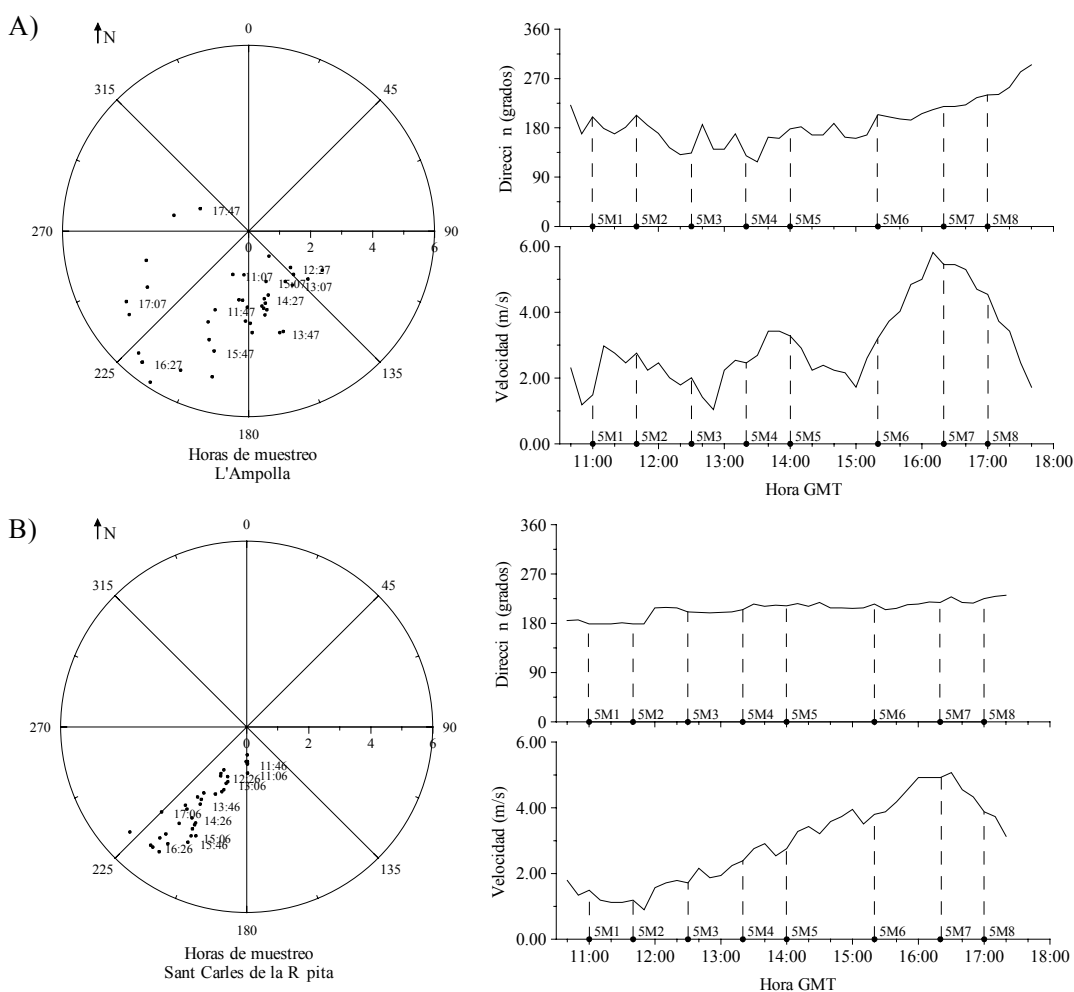


Figura 4.5.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 5.
A) L'Ampolla, B) Sant Carles de la Ràpita.

La dirección del viento osciló entre 118.0 y 240.0 grados con un promedio de 179.1 grados para la estación de L'Ampolla, y entre 179.0 y 228.0 grados con un promedio de 205.8 grados para la de Sant Carles de la Ràpita. La velocidad del viento varió entre 1.04 y 5.82 m/s con un promedio de 3.08 m/s para la estación de L'Ampolla, y entre 0.9 y 5.07 m/s con un promedio de 2.95 m/s para la estación de Sant Carles de la Ràpita. En este muestreo observamos que no existe mucha variación en la dirección del viento, siendo para ambas estaciones de componente sur-suroeste. En cambio, la velocidad varía a lo largo del muestreo, siendo en general muy débil pero aumentando su magnitud durante los muestreos realizados en las estaciones 5M6, 5M7 y 5M8, donde puede considerarse débil.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar por las mareas astronómicas y el oleaje, medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla, que puede verse en la figura 4.5.2, posee el mismo rango de variaciones que en los muestreos anteriores. La diferencia de altura máxima encontrada fue de 15.0 cm, por lo que al igual que en los muestreos anteriores consideraremos que las corrientes mareales y el oleaje no tienen gran importancia en este muestreo.

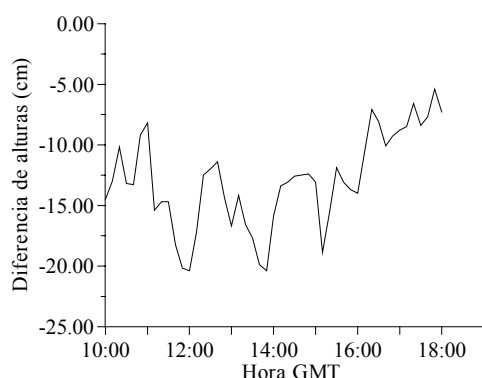


Figura 4.5.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 5.

b.2) Caudales del río Ebro

En la figura 4.5.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo, con los datos procedentes de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en Tortosa. Al igual que ocurre en los muestreos anteriores, los caudales máximos horarios se localizan en las horas de mayor gasto hidroeléctrico, a

primeras horas de la mañana y de la noche. Pero, como ya comentamos anteriormente, los caudales medidos en Tortosa no nos son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura.

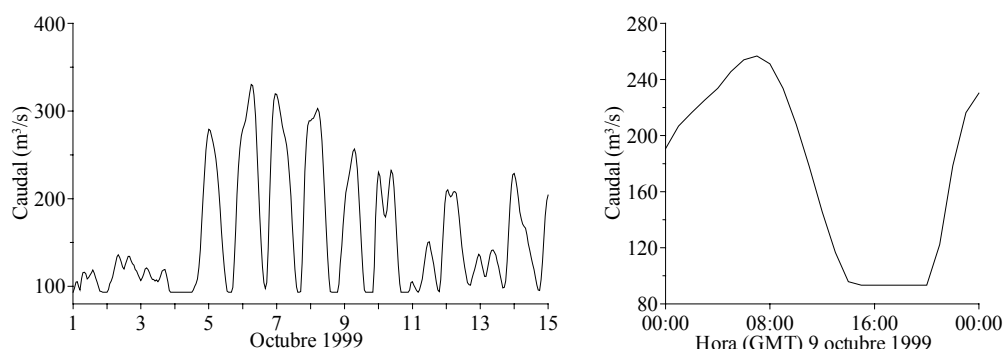


Figura 4.5.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 5.

b.3) Corrientes

En la figura 4.5.4 se ha representado el perfil de velocidades obtenido por el correntímetro ADP para la estación más cercana a la desembocadura, 5M3. En ella podemos comprobar que, al igual que ocurría para la estación 3M1 del muestreo 3 (ver figura 4.3.4) y por las mismas razones ya apuntadas, no podemos sacar mucha información de dicha figura, pues no se llega a observar un cambio brusco de dirección ni un mínimo en la velocidad. Lo mismo se ha podido observar en el resto de estaciones muestreadas que no se han representado.

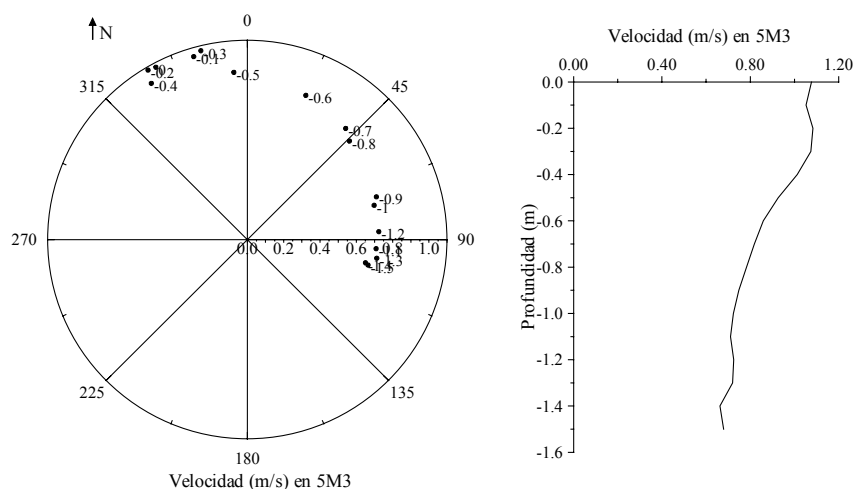


Figura 4.5.4. Dirección (grados) y velocidad (m/s) de la corriente proporcionado por el ADP, en la estación 5M3.

4.5.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

Al igual que ocurre en el muestreo anterior, en esta campaña también se realizó una medida previa de la conductividad para situar las diferentes estaciones de muestreo, pero estos datos no fueron anotados. Con el CTD Seabird se

realizaron las medidas de temperatura y conductividad/salinidad en todas las estaciones, pero las grandes variaciones obtenidas con este dispositivo de medida en la capa de agua más superficial, nos obliga a omitir los valores tanto de temperatura como de conductividad.

Solamente se representan en la figura 4.5.5 los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 7 estaciones mediante el SWAS, datos que se muestran en la tabla A.10 del Anexo.

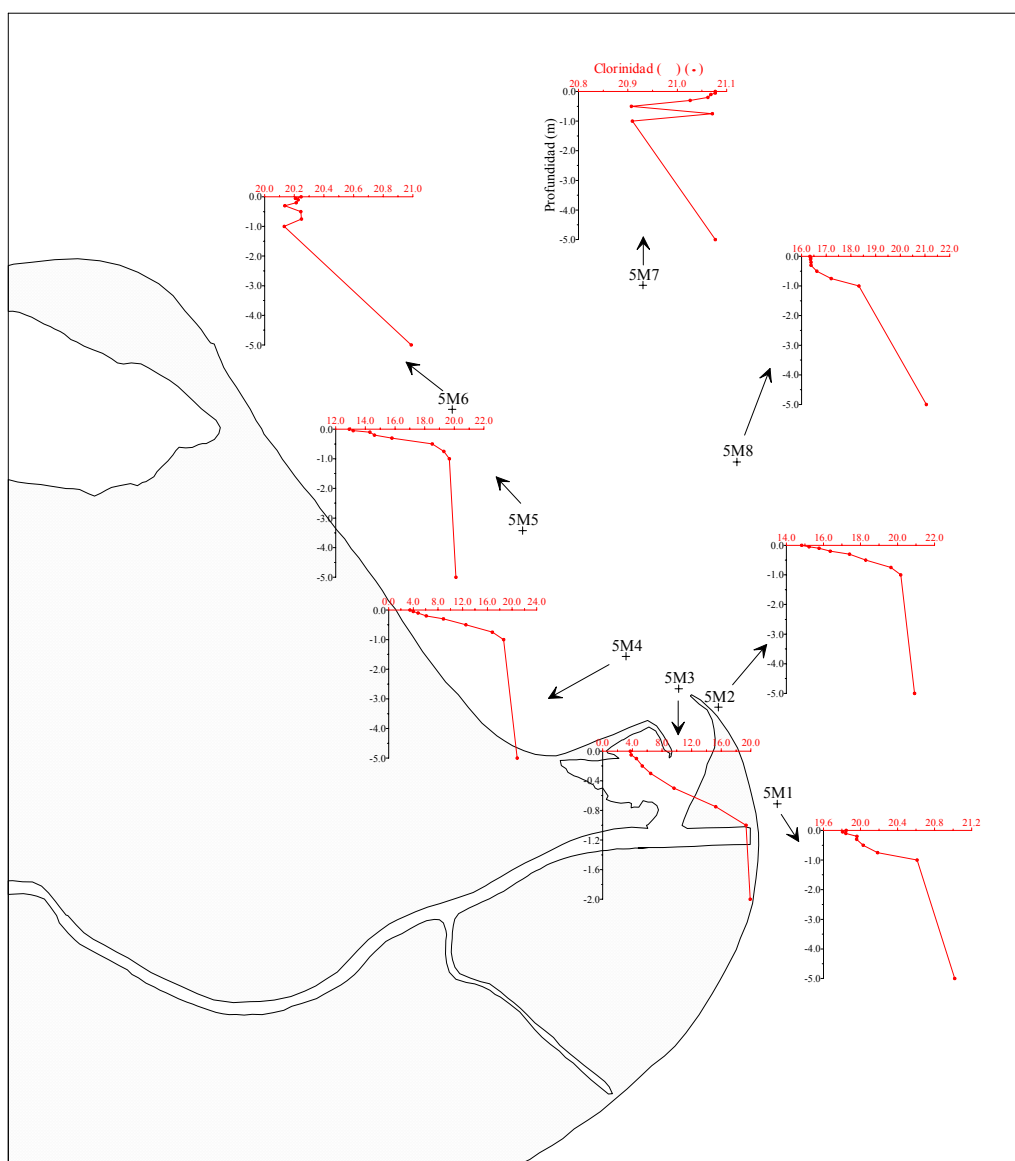


Figura 4.5.5. Perfiles de clorinidad (‰) (•) de las muestras de agua para el muestreo 5.

a) Temperatura

Igual que en el muestreo anterior, la gran variación obtenida en los valores más superficiales nos impide estudiar los resultados de la temperatura obtenida con el CTD Seabird.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

En la figura 4.5.5 se observa los valores provenientes de la toma de muestras mediante el SWAS, que nos aportan una gran precisión en la capa de agua más superficial.

En la tabla 4.5.1 se han especificado los valores máximos y mínimos de clorinidad (‰) de las muestras de agua recogidas a distintas profundidades en cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
5M4	20.830	-5.0	3.449	0.00
5M3	19.904	-2.0	3.731	0.00
5M5	20.112	-5.0	12.914	0.00
5M2	20.916	-5.0	14.823	0.00
5M8	21.053	-5.0	16.342	0.00
5M1	21.017	-5.0	19.806	-0.05
5M6	20.989	-5.0	20.132	-1.00
5M7	21.077	0.00, -0.05, -5.0	20.907	-0.50

Tabla 4.5.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 5.

La diferencia de densidad entre las aguas dulces/salobres del río Ebro y las más salinas del mar Mediterráneo provoca que en general para cada una de las estaciones los máximos de la clorinidad se localicen a las mayores profundidades y los mínimos en las capas más superficiales de la columna de agua. Las excepciones son las estaciones 5M6 y 5M7 por las razones que más adelante apuntaremos.

Como era de esperar, la clorinidad va variando entre las distintas estaciones, aumentando desde 5M4 y 5M3 hasta 5M7, como se aprecia en la tabla 4.5.1. Así

queda de nuevo patente la influencia del viento proveniente del sur-suroeste sobre la morfología de la pluma estuarina, que provoca el desplazamiento de ésta hacia el norte-noreste (hacia la estación 5M8). Así se aprecia en la figura 4.5.5, donde las clorinidades superficiales son menores en 5M8 que en 5M1 y 5M6. En esta misma figura 4.5.5 se aprecia el esperado aumento de la clorinidad al aumentar la profundidad observando los cambios más drásticos en el primer metro de la columna de agua. Cabe resaltar algunas desviaciones de esta pauta general en algunas estaciones. En 5M1, el viento proveniente del sur-suroeste introduce agua más salina por superficie, provocando que la clorinidad a 0.00 m sea mayor que a 0.05 m de profundidad. En las estaciones 5M6 y 5M7 se observa diversas variaciones en el primer metro de la columna de agua, que probablemente quepa achacar al aumento de la velocidad del viento, ya reseñado anteriormente, que provoca unos mayores movimientos y corrientes en esta capa de agua. Además, en estas estaciones el menor rango de variación de la clorinidad genera estos perfiles algo atípicos, pues cualquier mínimo cambio tiene grandes repercusiones. En cambio, para la estación 5M8, la velocidad del viento comienza a disminuir y la mayor cantidad de agua dulce/salobre provoca que estos cambios no sean tan llamativos, aunque puede observarse que el gradiente no es tan drástico, mostrando una cierta mezcla.

En la figura 4.5.6 se muestra un corte vertical del transecto formado por las estaciones 5M1, 5M2, 5M3, 5M4, 5M5 y 5M6, donde se observa que la clorinidad aumenta al hacerlo la profundidad y al alejarnos de la desembocadura. La pluma se mueve más hacia las estaciones 5M5 y 5M6 situadas en el norte que hacia 5M2 y 5M1 que se encuentran en el sur, debido al efecto del viento.

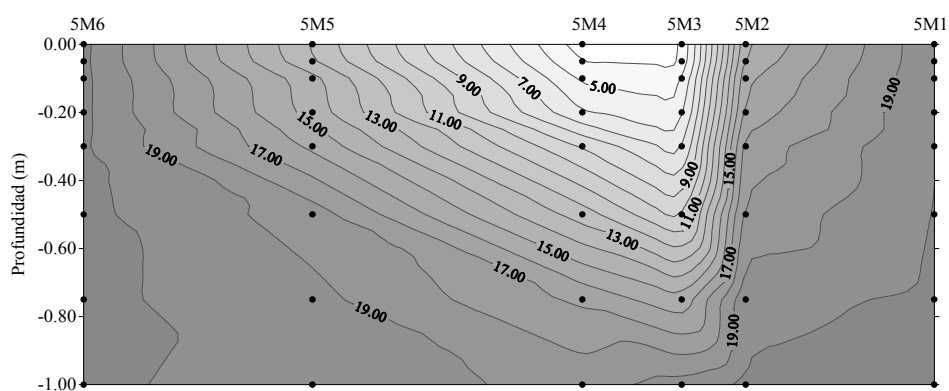


Figura 4.5.6. Perfil vertical de clorinidad (%) del transecto 5M1-5M6 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

Esto mismo se llega a observar en la figura 4.5.7, donde se representa un corte horizontal de la clorinidad (‰) para la capa de agua superficial (0.00 m) para todas las estaciones de muestreo. Como era de esperar y como ocurría en otros muestreos, la clorinidad va aumentando al alejarnos de la desembocadura del río Ebro.

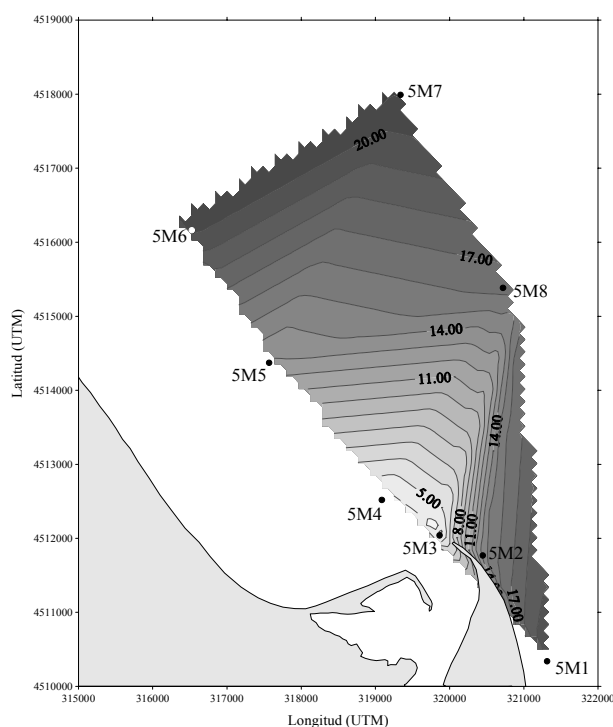


Figura 4.5.7. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a 0.00 m para las 8 estaciones del muestreo 5.

Las distribuciones horizontales a todas las profundidades se representa en la figura 4.5.8, donde las distribuciones a 0.75, 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes.

Hasta una profundidad de 0.75 m todas las distribuciones son muy similares, encontrando solamente diferencias en las mayores profundidades. La clorinidad va aumentando progresivamente al alejarnos de la desembocadura del río Ebro, pero con ciertos detalles. En general es menor en las estaciones situadas en el norte que en el sur debido a la dirección del viento en este muestreo, como ya se ha indicado anteriormente. La distribución a 1.00 m de profundidad es algo atípica debido a que el menor valor encontrado se sitúa en la estación 5M8 y no en 5M4 ó 5M3.

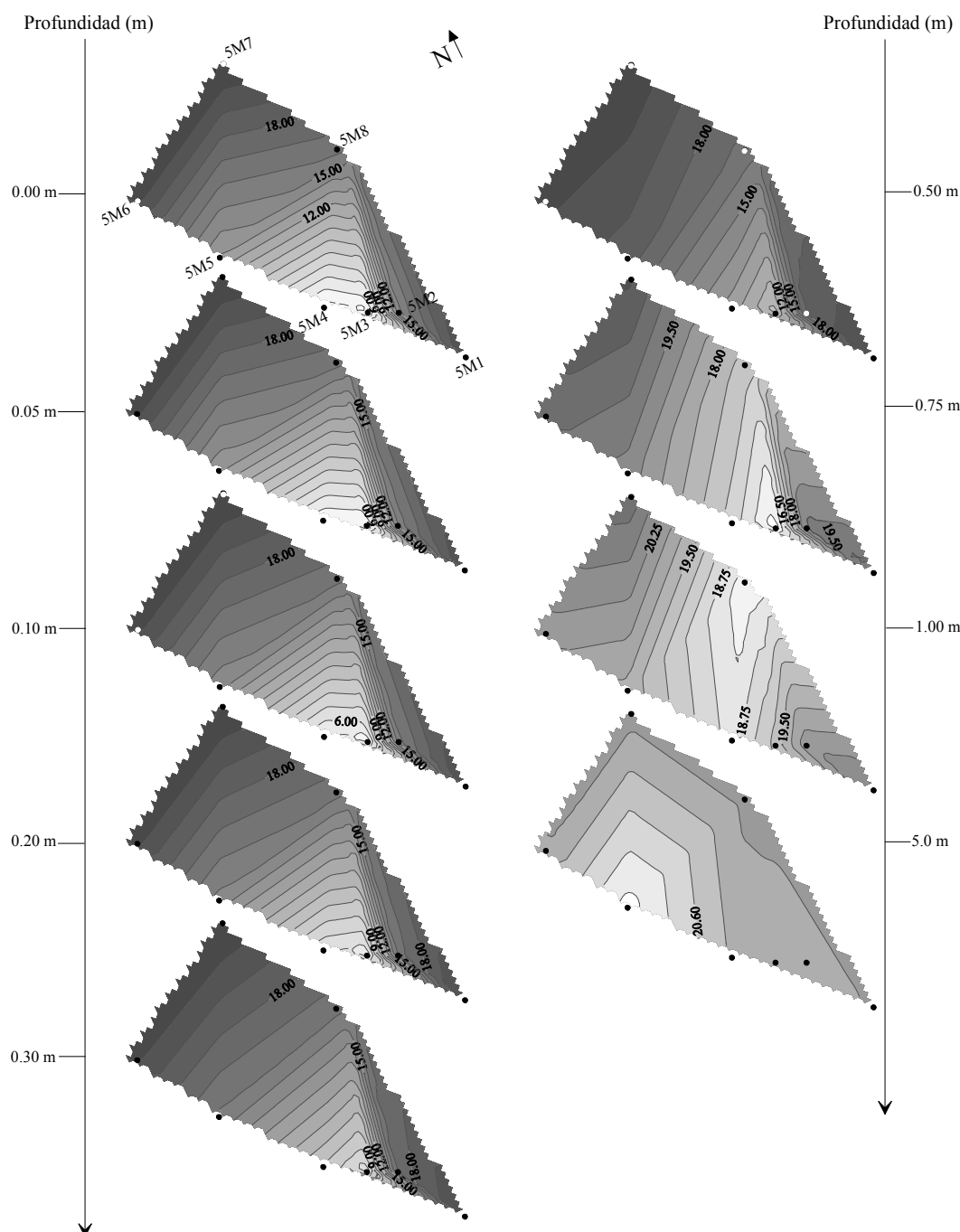


Figura 4.5.8. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 5. (La distribución a las profundidades de 0.75, 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes).

4.5.3.- Amonio

El valor máximo en este muestreo se corresponde con $4.9 \mu\text{mol/L}$ y se localiza en las estaciones 5M4 y 5M3 a las profundidades de 0.00 y 0.20 m respectivamente. El mínimo es inferior a $0.1 \mu\text{mol/L}$ y se encontró en 5M7 a 5.0 m. El rango de variación en este muestreo es bastante similar al del anterior si exceptuamos la estación de mayor influencia fluvial 4M1 del 8 de octubre, que de

hecho posee una menor clorinidad que la estación más dulce de este muestreo del 9 de octubre. En la tabla 4.5.2 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	4.9	0.00	0.5	-5.0
5M3	4.9	-0.20	0.4	-2.0
5M5	2.1	-0.50	0.3	-5.0
5M2	2.1	-0.50	0.7	-0.10
5M8	1.0	-0.30	0.3	0.00, -0.05
5M1	1.7	-0.75	0.9	-5.0
5M6	0.6	-0.05, -5.0	0.1	-0.50
5M7	0.9	0.00	<0.1	-5.0

Tabla 4.5.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Las concentraciones de amonio son mayores en las estaciones de mayor influencia continental (5M4 y 5M3), siendo menores en el resto. Como ya ocurría en otros muestreos no parece llegar a observarse una clara pauta de disminución con el aumento de la profundidad, pues en algunas estaciones los máximos se localizan a las mayores profundidades (5M6) y los mínimos en las capas más superficiales (5M8), como posteriormente comentaremos.

En la figura 4.5.9 se muestra la distribución horizontal para este muestreo. Al igual que ocurría en otros muestreos, y debido a la influencia de los aportes fluviales, puede apreciarse una progresiva disminución de amonio al hacerlo la influencia continental, encontrando una distribución superficial que tiende a ser contraria a la clorinidad (figura 4.5.7).

En la figura 4.5.10 se muestra la distribución vertical en el transecto 5M1-5M6, donde se aprecia los mayores valores de amonio encontrados a nivel superficial en las estaciones 5M4 y 5M3. La esperada pauta de disminución al aumentar la profundidad no llega a apreciarse claramente en todas las estaciones,

pues se localizan desviaciones en algunas de ellas. Son de resaltar los altos valores encontrados en 5M5 y 5M2 a una profundidad aproximada de 0.50 m.

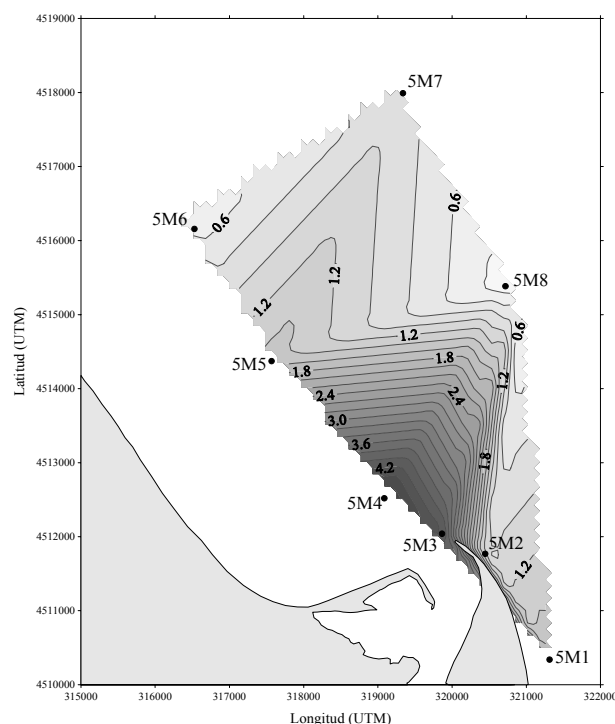


Figura 4.5.9. Distribución superficial de amonio ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 5.

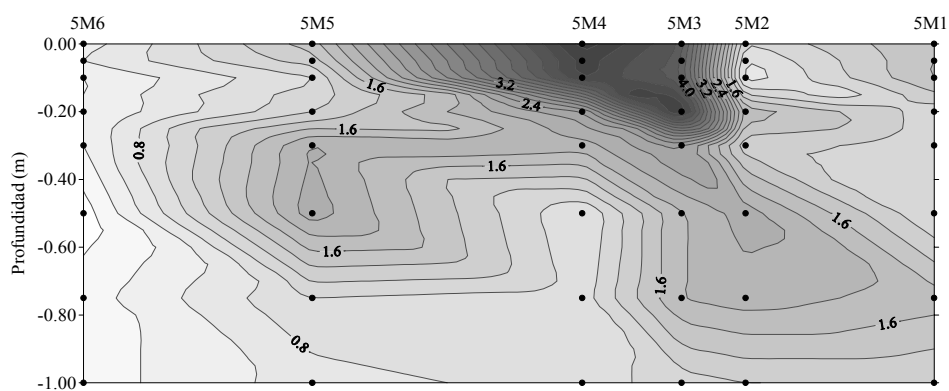


Figura 4.5.10. Distribución vertical de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 5M1-5M6.

Estas discontinuidades y algunas otras, que son achacables en principio a las numerosas entradas y salidas de esta especie de nitrógeno y a la gran actividad biológica, se observan con mayor precisión en la figura 4.5.11, donde se representa los perfiles en cada una de las estaciones. En general los valores correspondientes a 5.0 m son menores que los encontrados en las capas más superficiales, pero con algunas excepciones que se corresponden con las estaciones 5M8 y 5M6. La concentración de amonio disminuye gradualmente con la profundidad solamente en 5M4, pues en todas las demás estaciones se observan desviaciones de esta pauta. En todas ellas, excepto en 5M7, se localizan los

valores máximos a unas profundidades entre 20 y 75 cm de profundidad, o incluso a 5.0 m como en 5M6. En algunas de ellas (5M3, 5M5, 5M2, 5M8 y 5M6) las concentraciones encontradas en superficie son menores que a las profundidades subsuperficiales, probablemente debido a una alta absorción fitoplanctónica y bacteriana y al efecto de los movimientos de los microorganismos en esta delgada capa de agua.

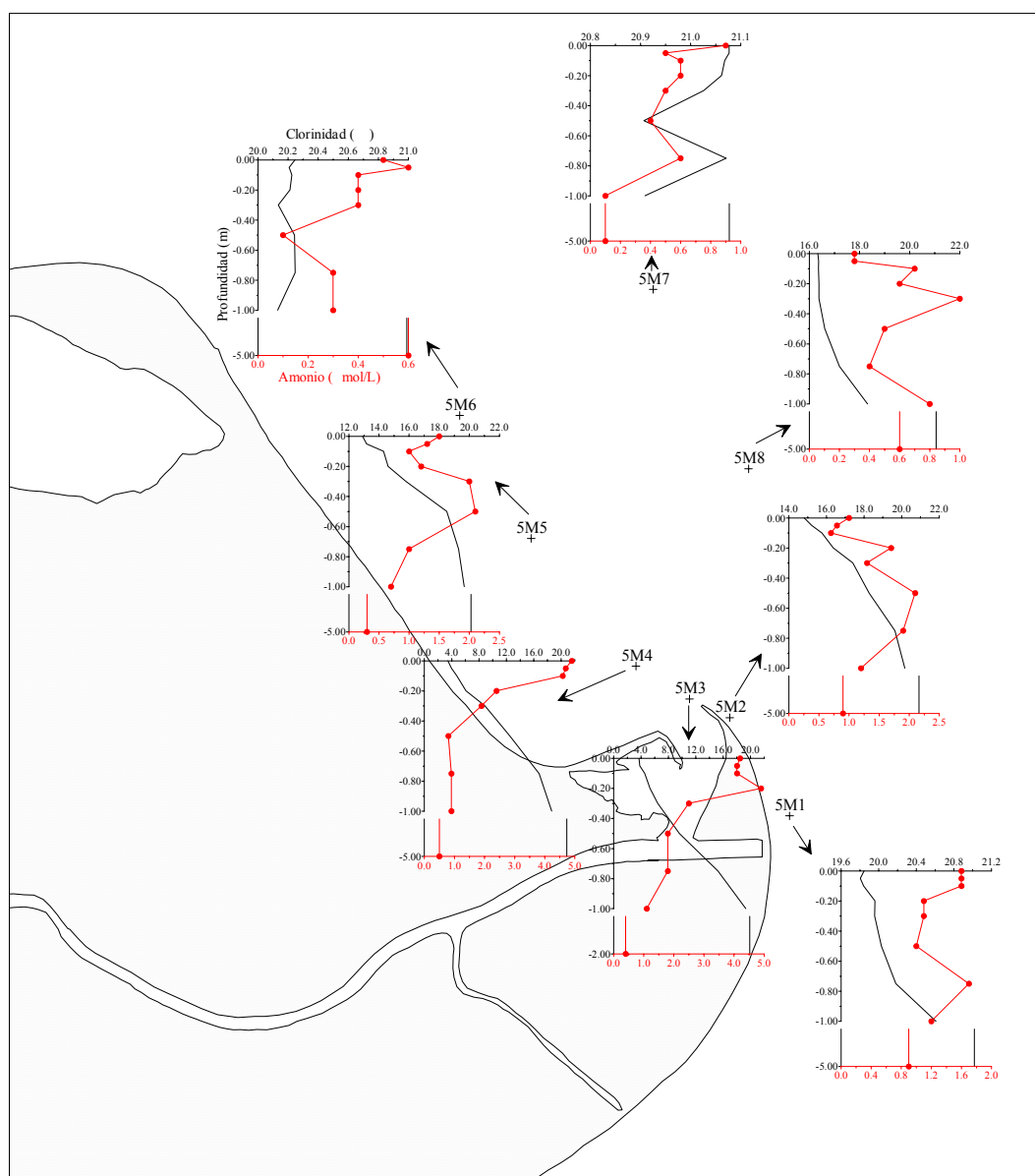


Figura 4.5.11. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 5.

Con todo esto es de esperar que el comportamiento de esta forma de nitrógeno en el proceso de mezcla entre las aguas dulces/salobres y las más salinas no tenga una clara pauta. Así se observa en la figura 4.5.12, donde se aprecia una disminución de amonio al aumentar la clorinidad solamente en las

estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3). En el resto de estaciones el amonio aumenta o disminuye al aumentar la clorinidad sin ninguna clara pauta.

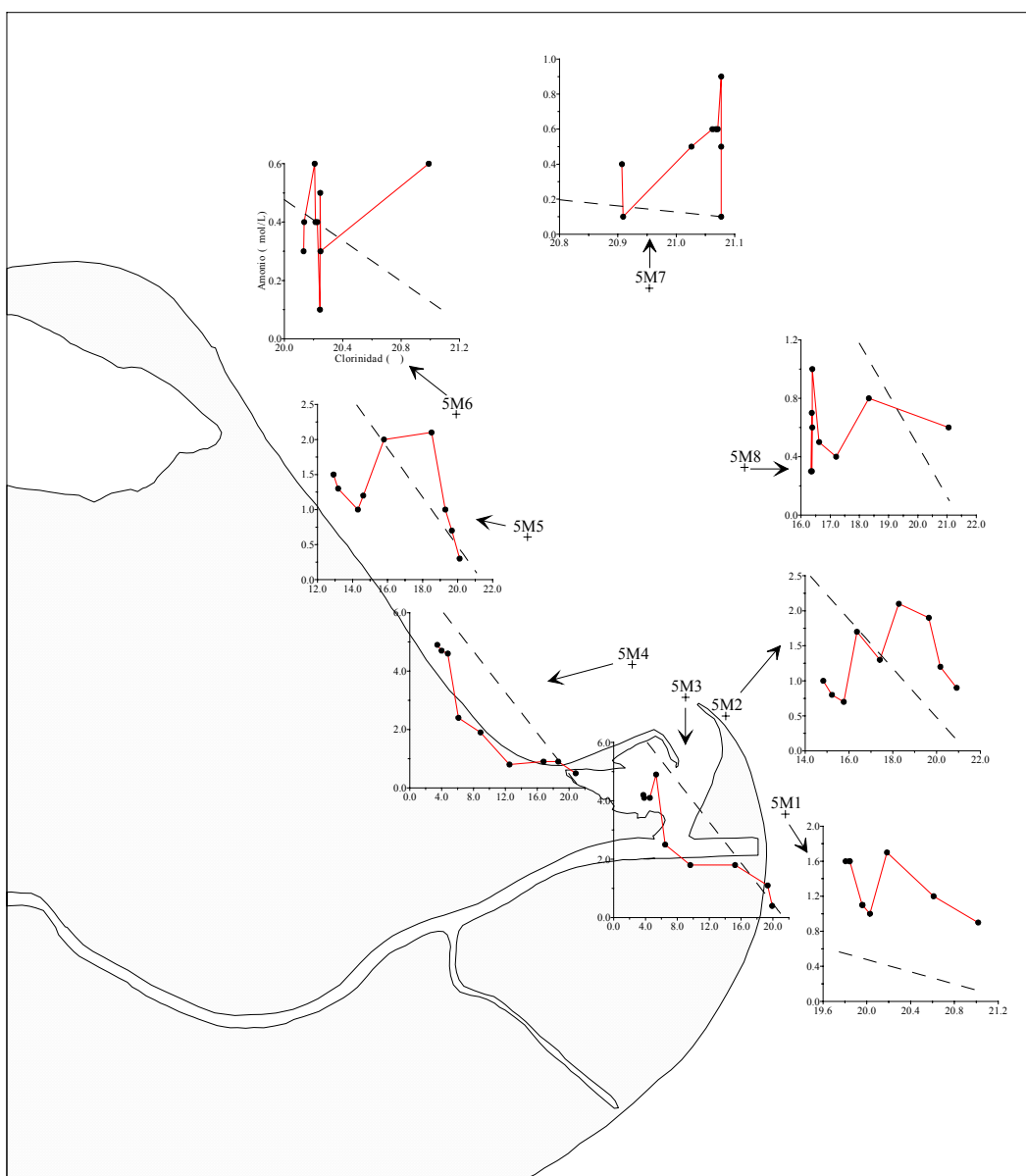


Figura 4.5.12. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

Como ya se ha comentado en otras ocasiones estas anomalías cabe achacarlas a:

- No existen grandes diferencias entre las concentraciones fluviales y marinas, con lo que el rango de variación es pequeño y cualquier mínimo cambio tiene grandes repercusiones.
- Tiene importantes salidas del sistema, por su absorción preferente sobre las otras formas de nitrógeno, su inestabilidad termodinámica y la nitrificación.

- La gran influencia de la actividad de los microorganismos sobre la concentración de amonio en niveles bajos.

De hecho el comportamiento de este nutriente en el proceso de mezcla no queda muy claro. En las estaciones de mayor influencia continental (5M4 y 5M3) se aprecian claras pérdidas, pero en el resto este comportamiento varía en gran medida. En la mayoría de éstas se observan pérdidas en las capas de menor clorinidad y ganancias en las capas más salinas (5M5, 5M2, 5M8 y 5M6), y en algunas de las estaciones de menor influencia fluvial se aprecian ganancias en toda la columna de agua (5M1 y 5M7).

Así, al igual que en otros muestreos, las pérdidas encontradas en algunas de las estaciones se deben en general a la predominancia de procesos como la absorción fitoplanctónica y bacteriana y a la nitrificación. En cambio las ganancias de las zonas de mayor clorinidad se deben probablemente a las exudaciones fitoplanctónicas y/o a la amonificación, sin olvidar la eliminación de amonio que se produce cuando el zooplancton se mueve hacia las capas inferiores.

Esto mismo se observa en la figura 4.5.13 donde se muestra el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina. Hasta una clorinidad aproximada de 18‰ el comportamiento general es de pérdidas, achacadas a la alta absorción por las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas y a la nitrificación. En cambio a mayor clorinidad el comportamiento general es de ganancias, debidas a lo ya comentado anteriormente.

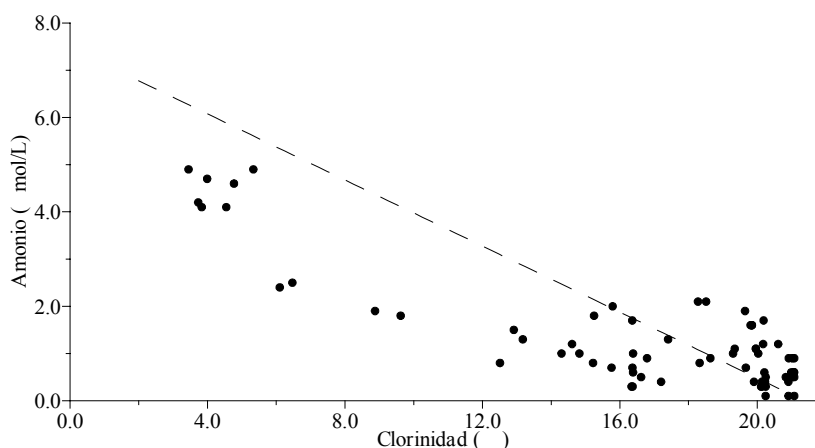


Figura 4.5.13. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.4.- Nitrato

En este muestreo la concentración posee un rango de variación bastante similar al del muestreo anterior. Varía desde un máximo de 109.8 $\mu\text{mol/L}$ a 0.05 m en la estación 5M3 hasta un mínimo de 0.5 $\mu\text{mol/L}$ en 5M7 a 0.20 m. En la tabla 4.5.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	105.3	-0.05	1.7	-5.0
5M3	109.8	-0.05	6.7	-2.0
5M5	51.0	0.00	4.8	-5.0
5M2	40.3	0.00	3.6	-5.0
5M8	28.0	-0.20	0.6	-5.0
5M1	8.1	-0.05	0.7	-5.0
5M6	4.2	-0.10	1.2	-5.0
5M7	1.0	-0.50	0.5	-0.20

Tabla 4.5.3. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrato en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

De nuevo la importancia de los aportes continentales queda patente en los resultados encontrados en este muestreo. Así las mayores concentraciones se alcanzan en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3), disminuyendo conforme lo hace ésta. En cada una de las estaciones, excepto en la de mayor clorinidad (5M7), las mayores concentraciones se encuentran a nivel superficial y las menores a las mayores profundidades.

En la figura 4.5.14 se representa su distribución superficial. Como ocurre con el amonio, las mayores concentraciones se localizan en las proximidades de la desembocadura, disminuyendo al alejarnos de ésta al hacerlo la influencia fluvial. Como ya se comentó en apartados anteriores el efecto del viento sobre la morfología de la pluma estuarina queda patente también en esta figura, desplazándola en dirección norte-noreste.

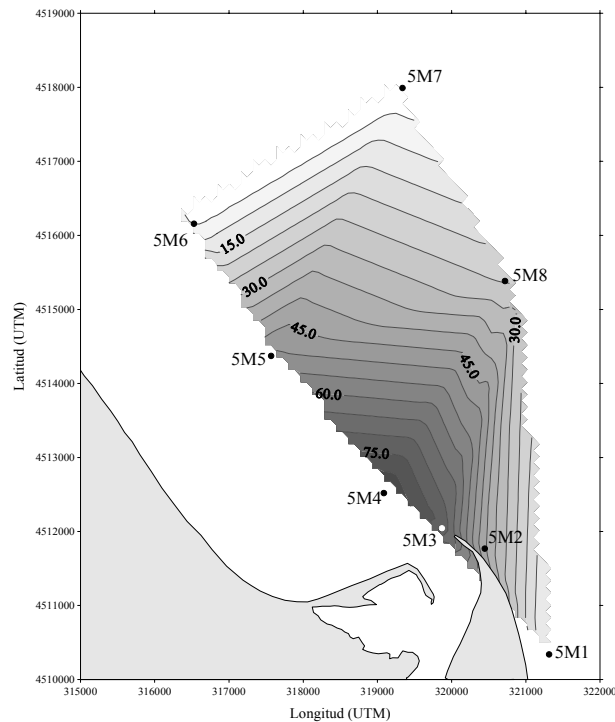


Figura 4.5.14. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 5.

En la figura 4.5.15 se observa la distribución vertical en el transecto 5M1-5M6, en la que vemos que las mayores concentraciones se localizan en las estaciones 5M4 y 5M3 en superficie, disminuyendo éstas al aumentar la profundidad en todas las estaciones.

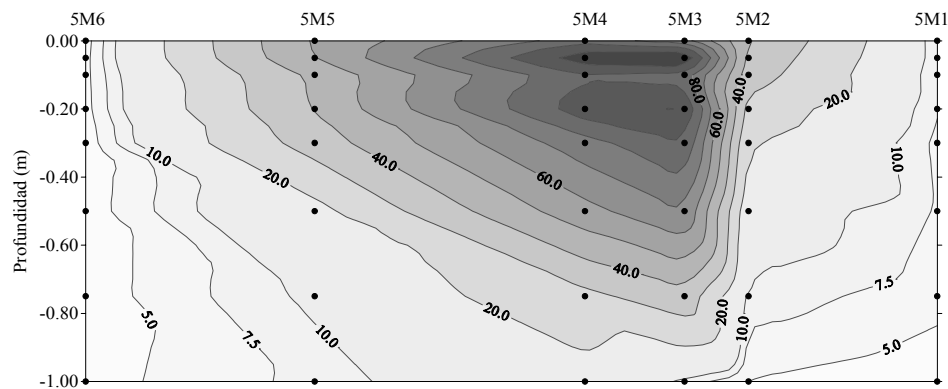


Figura 4.5.15. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 5M1-5M6.

Pero como puede apreciarse en esta figura 4.5.15 y con más detalle en la figura 4.5.16, existen diversas variaciones en algunas de las estaciones. Así, solamente en 5M5 y 5M2 la disminución de la concentración es gradual con el aumento de profundidad, existiendo en el resto diversas discontinuidades. Éstas se producen en las capas subsuperficiales (20 cm superiores), achacables al movimiento y actividad de las comunidades planctónicas. Caso aparte merece la estación 5M7, donde la reducida influencia continental da lugar a unas

concentraciones especialmente bajas ($0.5\text{--}1.0\ \mu\text{mol/L}$) sobre las que la actividad de los microorganismos planctónicos tiene más relevancia que los aportes continentales a la hora de determinar las variaciones. De hecho, en esta estación 5M7, la concentración a 5.0 m es un poco mayor que a 0.00 m.

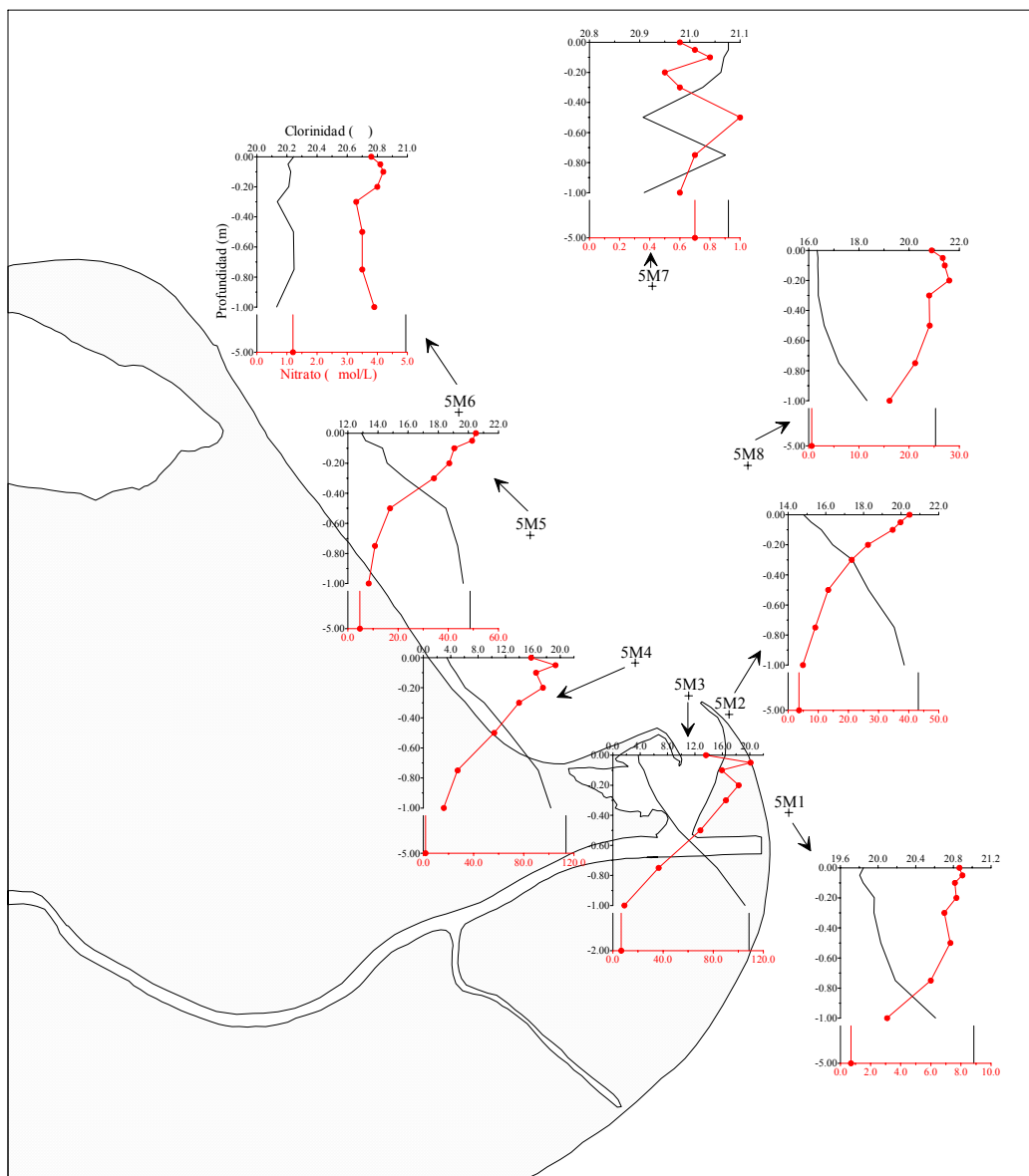


Figura 4.5.16. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 5.

En la figura 4.5.17, donde se muestra el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones, queda patente la esperada disminución de la concentración al aumentar la clorinidad. En la mayoría de las estaciones el comportamiento mayoritario es conservativo, si acaso con muy ligeras pérdidas en las capas de menor clorinidad. Algo diferente ocurre en las estaciones de menor influencia fluvial (5M6 y 5M7), donde el comportamiento no

puede considerarse conservativo, sino más bien de ciertas pérdidas. En general estas pequeñas pérdidas encontradas caben ser achacadas a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre los restantes procesos. En cambio ya hemos visto que, en general, el comportamiento en la mayoría de las estaciones es conservativo, es decir, los procesos que aumentan su concentración están compensados con aquellos que la disminuyen.

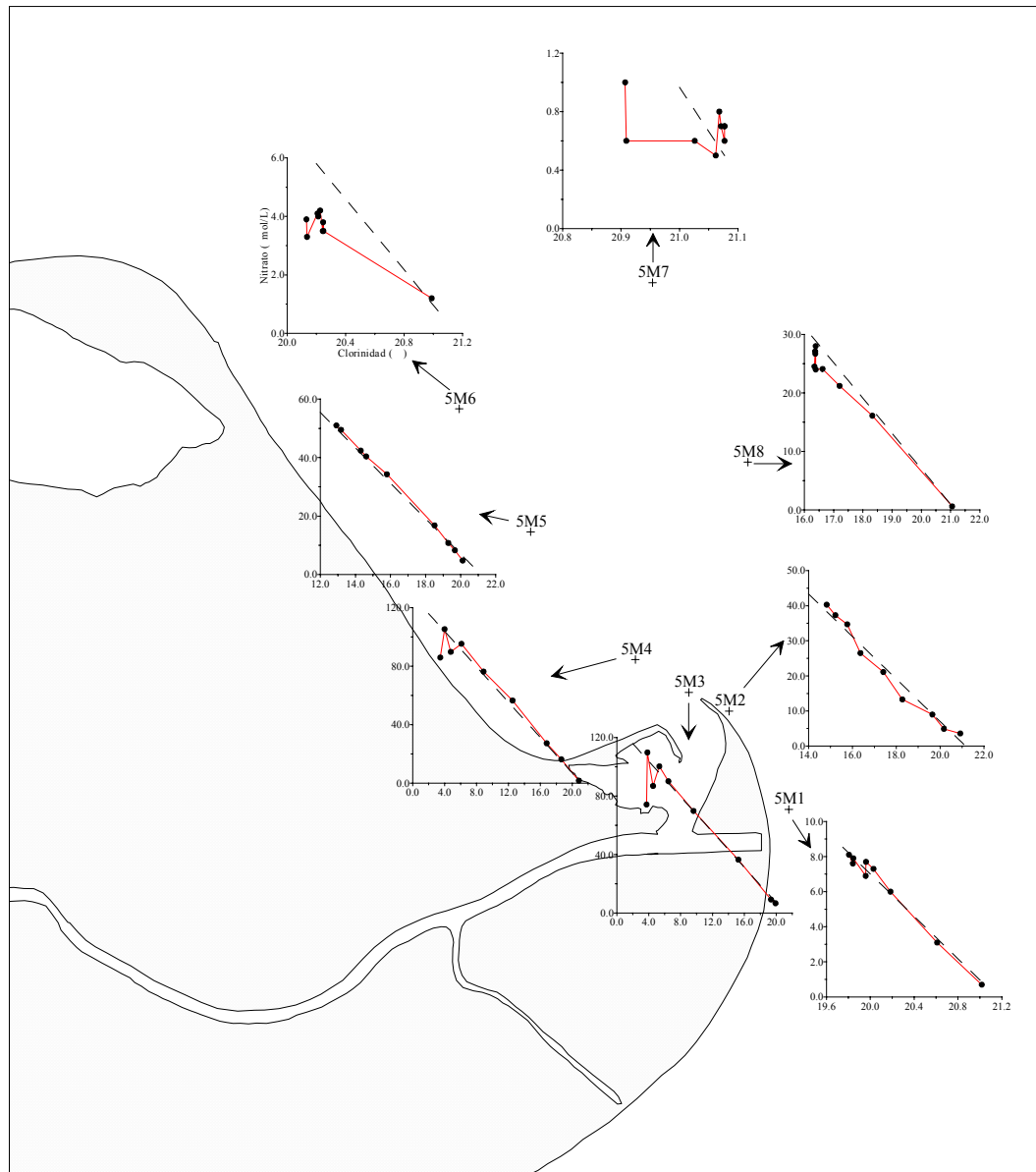


Figura 4.5.17. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

Esto queda bastante más claro en la figura 4.5.18, donde se muestra el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina. En general el nitrato se comporta de manera conservativa, siendo a las menores clorinidades

donde se producen algunas pequeñas pérdidas, debidas como ya comentamos anteriormente a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica.

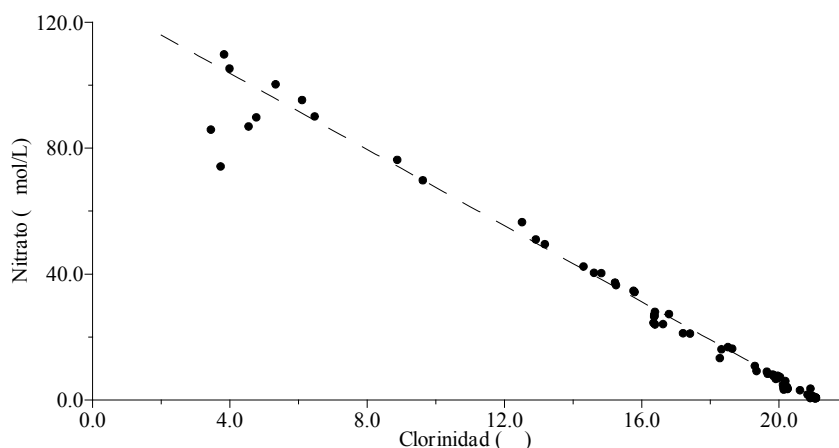


Figura 4.5.18. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.5.- Nitrito

En este muestreo el rango de variación de este nutriente es algo superior al del 8 de octubre. El valor máximo de la concentración es de 4.78 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en la estación 5M3 a 0.00 m de profundidad, mientras que el mínimo es inferior al límite de detección del método analítico (0.01 $\mu\text{mol/L}$) y se localiza a las mayores profundidades en muchas de las estaciones y en toda la columna de agua en 5M7. En la tabla 4.5.4 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	4.30	-0.05	<0.01	-5.0
5M3	4.78	0.00	0.07	-2.0
5M5	1.46	0.00	0.08	-5.0
5M2	1.48	0.00	<0.01	-5.0
5M8	0.92	-0.10	<0.01	-5.0
5M1	0.27	-0.05	<0.01	-5.0
5M6	0.06	-0.05	<0.01	-5.0
5M7	<0.01 a todas las profundidades			

Tabla 4.5.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Como era de esperar por la importancia de los aportes continentales, las mayores concentraciones se localizan de nuevo en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3), disminuyendo conforme las aguas se vuelven más salinas, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento a las mayores clorinidades, e incluso en una de las estaciones (5M7) en toda la columna de agua.

La distribución superficial se muestra en la figura 4.5.19, donde queda patente la disminución de las concentraciones al hacerlo la influencia continental, por las mismas razones apuntadas para el amonio y el nitrato.

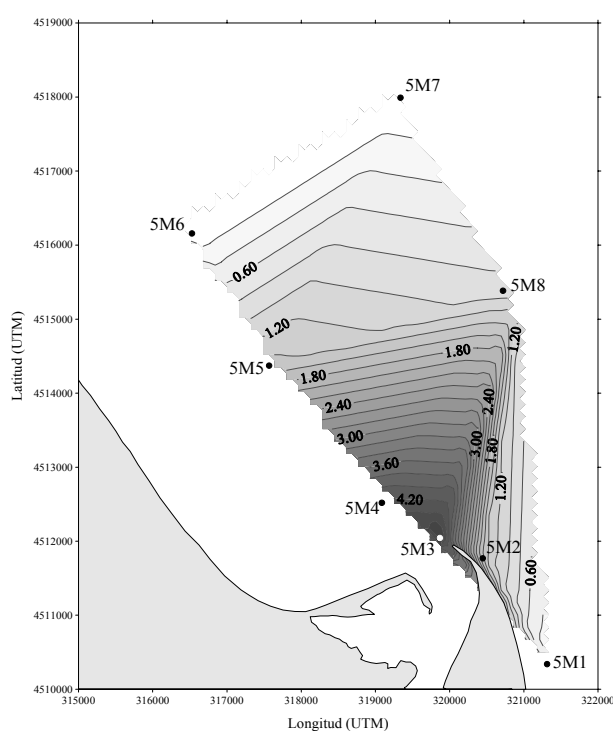


Figura 4.5.19. Distribución superficial de nitrito ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 5.

En la figura 4.5.20 se ha representado la distribución vertical para el transecto 5M1-5M6.

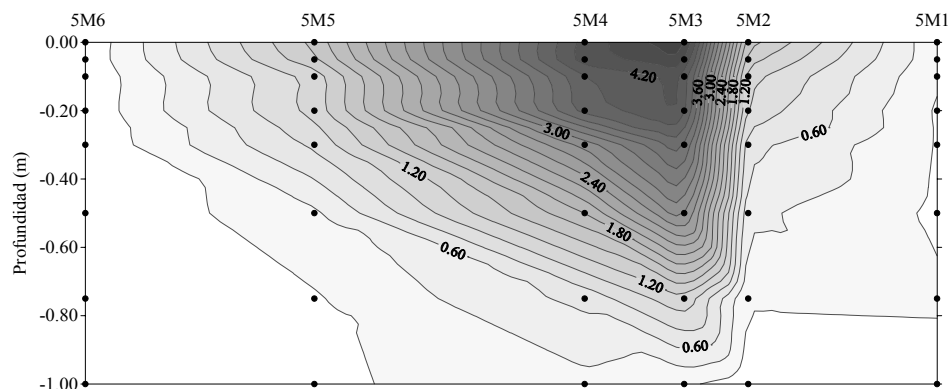


Figura 4.5.20. Distribución vertical de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 5M1-5M6.

La concentración de nitrito va disminuyendo al aumentar la profundidad en todas las estaciones. Es de resaltar la gran variación que se produce entre 5M3 y 5M2, que también llegaba a observarse para el caso del amonio (figura 4.5.10) y del nitrato (figura 4.5.15), achacable fundamentalmente al efecto del viento que provoca el desplazamiento de la pluma estuarina hacia el norte-noreste.

Ya se ha comentado la esperada disminución gradual de la concentración al aumentar la profundidad, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento en algunas de las estaciones, disminución que se observa con mayor precisión en la figura 4.5.21.

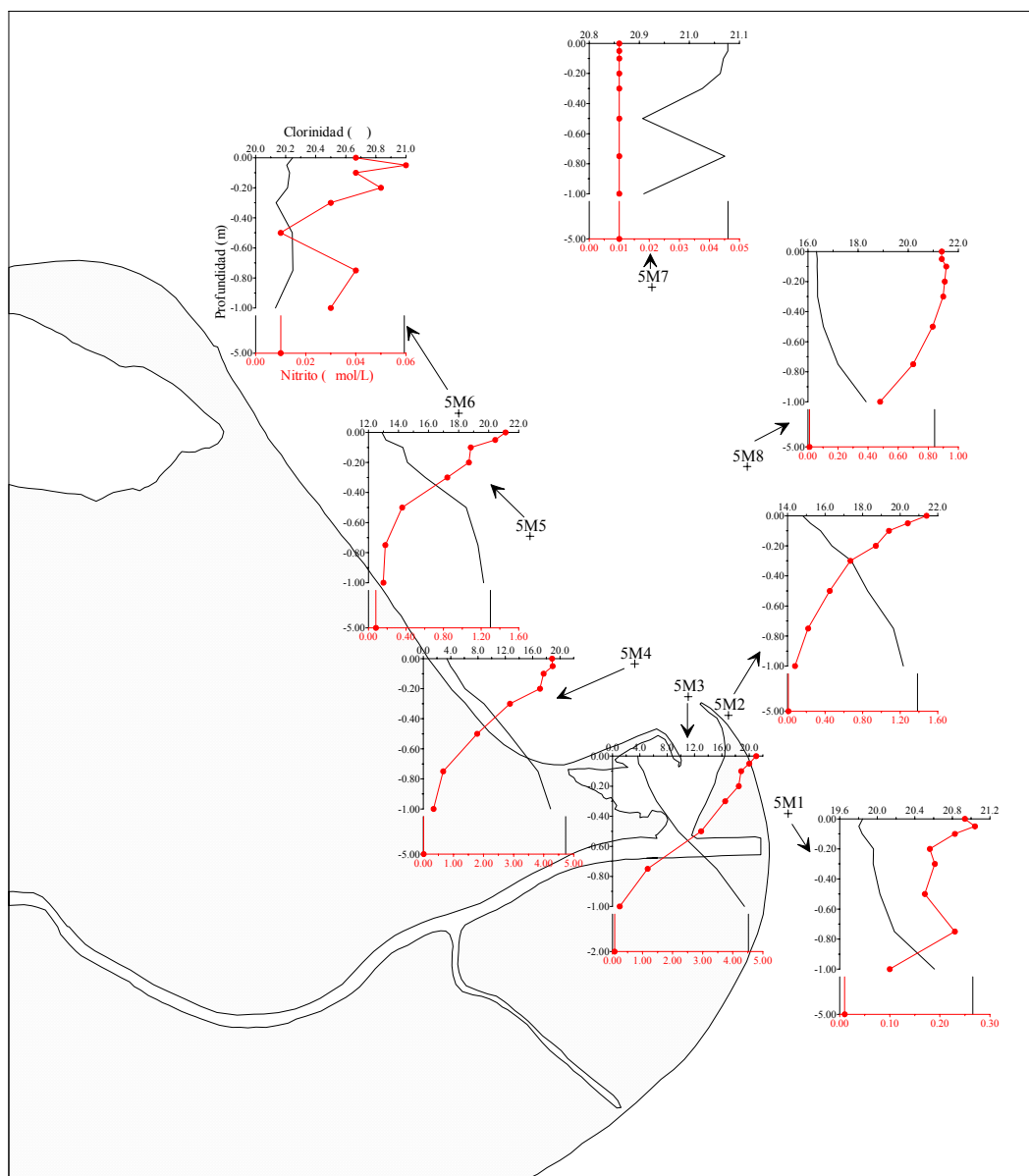


Figura 4.5.21. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 5.

En general no se observan desviaciones de esta clara pauta de disminución en ninguna de las estaciones. Solamente en un par de ellas (5M1 y 5M6), que se corresponden con las de menor influencia continental exceptuando 5M7, puede decirse que existen algunas desviaciones de la pauta, pero que son de pequeña magnitud y parecen ser debidas a la unión de dos factores, la variación en la clorinidad y los pequeños valores de las concentraciones encontradas que posibilitan una mayor influencia de la actividad biológica sobre esta pauta. Sin embargo en los puntos más salinos de 5M1 se producen también aumentos en el amonio y PSR, como posteriormente veremos, lo que indica un posible proceso de excreción.

Se ha de resaltar los altos valores encontrados en este muestreo, que son los mayores de los 5 muestreos estudiados hasta el momento. Como ya se comentó en el muestreo anterior del 8 de octubre, las menores concentraciones encontradas los días 5 y 6 de octubre en los muestreos realizados en el río Ebro y que serán el origen de la línea de mezcla ideal, darán lugar a que la mayoría de nuestras muestras, si no todas, queden por encima de ésta. Así queda patente en la figura 4.5.22, donde se muestra el comportamiento del nitrito para cada una de las estaciones. Aquí, y como ya se hizo en el muestreo del 8 de octubre, se ha calculado un valor promedio de las muestras más dulces de la estación de mayor influencia fluvial (5M4), a partir del cual se ha obtenido la línea de mezcla ideal (línea azul) que se usará para la discusión posterior.

En esta figura 4.5.22 se observa, como era de esperar, que las concentraciones de nitrito disminuyen al aumentar la clorinidad. Como ocurría en el muestreo del 8 de octubre, y como ya se ha comentado, si tenemos en cuenta la línea de mezcla de origen fluvial, en todas las estaciones (excepto en 5M6 y 5M7) se producen ganancias, que se deben a unos mayores valores de las concentraciones de nitrito en el río en este día de muestreo con respecto a los días 5 y 6 de octubre, que a la predominancia de procesos de exudación autótrofa o nitrificación de amonio. De hecho, teniendo en cuenta el promedio de las muestras más dulces de la estación 5M4 para calcular la línea de mezcla ideal (línea azul) observamos diferentes comportamientos. El nitrito se comporta de manera conservativa en las estaciones de mayor influencia fluvial, 5M4 y 5M3, con

pérdidas en las zonas de mayor clorinidad y ganancias más bajas en las de clorinidad más reducida. En el resto de estaciones el nitrito muestra pérdidas de diferente magnitud debidas a la predominancia de la absorción fitoplanctónica y la nitrificación del nitrito sobre la exudación y la nitrificación del amonio.

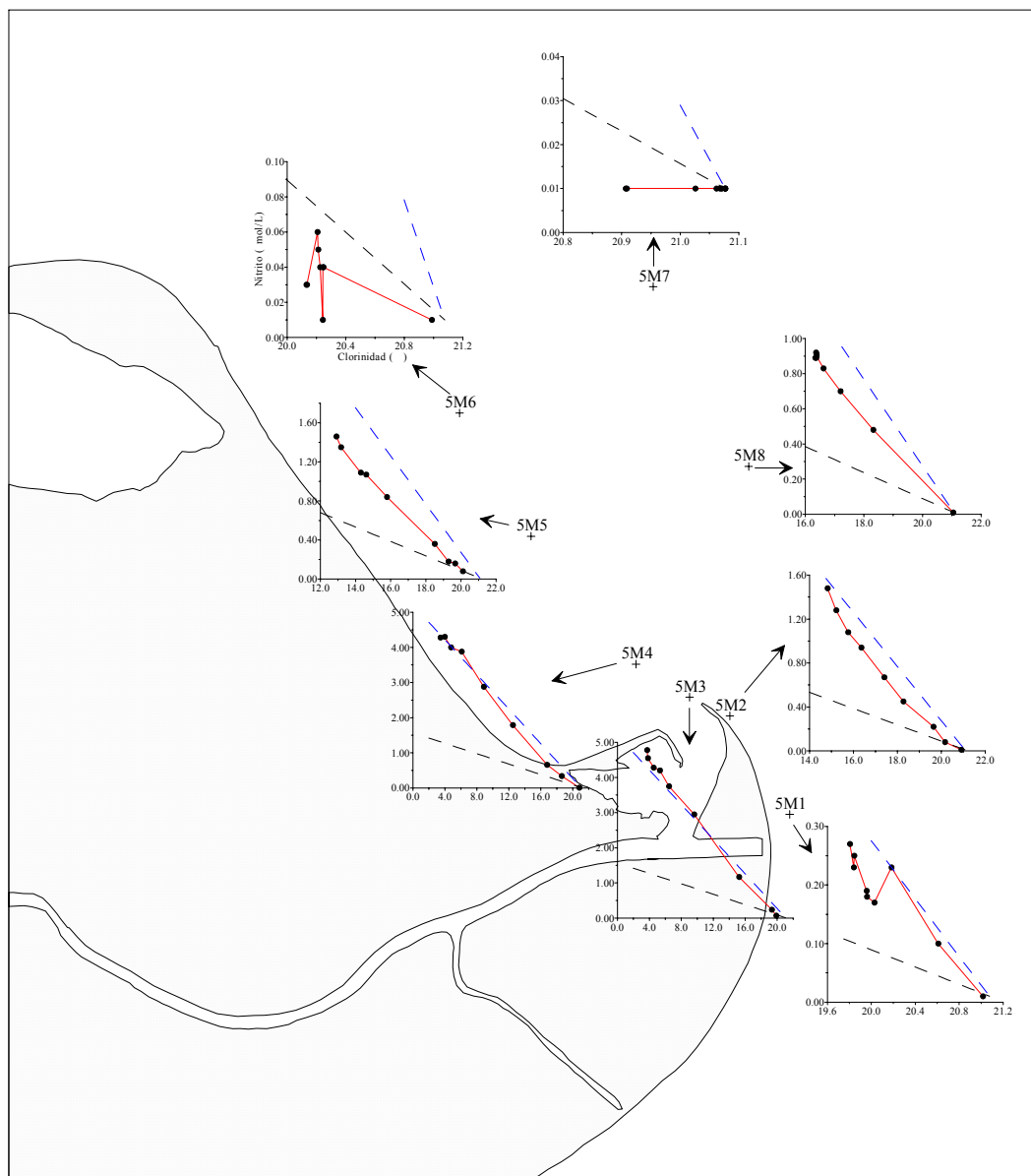


Figura 4.5.22. Comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

Esto mismo queda patente en la figura 4.5.23 donde se representa el comportamiento global en la pluma estuarina. Con respecto a la línea de origen fluvial (línea negra), el nitrito presenta claras ganancias, pero teniendo en cuenta la línea de mezcla obtenida mediante el promedio de las muestras más dulces de 5M4 (línea azul) el nitrito se comporta de manera bastante conservativa, con pérdidas en la zona de mayor clorinidad, que serían achacables a la alta absorción

fitoplanctónica y/o a la nitrificación y ligeras ganancias en la capa de agua de menor salinidad debidas probablemente a la exudación autótrofa y a la nitrificación del amonio.

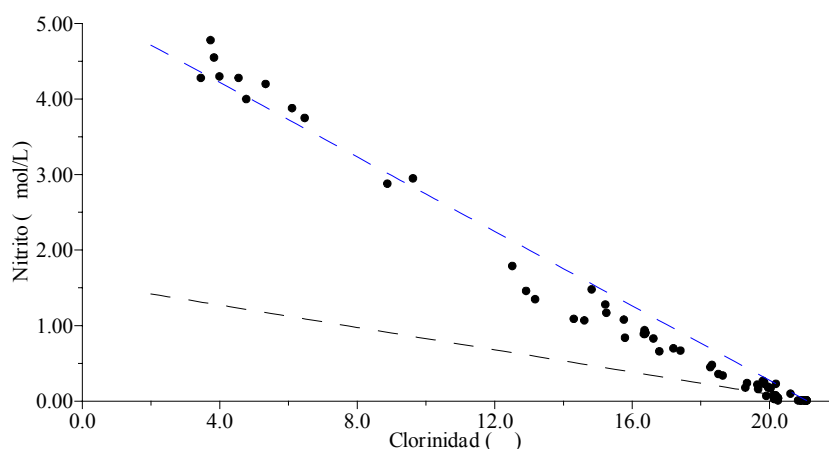


Figura 4.5.23. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.6.- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

Como era de esperar debido al mayor peso del nitrato sobre el amonio y el nitrito, el NID tiene un rango de variación similar al primero. La concentración máxima es de 118.4 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 5M3 a 0.05 m de profundidad, mientras que el mínimo es de 0.7 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en 5M7 a 1.00 y 5.0 m. En la tabla 4.5.5 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	114.3	-0.05	2.2	-5.0
5M3	118.4	-0.05	7.2	-2.0
5M5	54.0	0.00	5.2	-5.0
5M2	42.8	0.00	4.5	-5.0
5M8	29.5	-0.20	1.2	-5.0
5M1	10.0	-0.05	1.6	-5.0
5M6	4.7	-0.05, -0.10	1.8	-5.0
5M7	1.5	0.00	0.7	-1.00, -5.0

Tabla 4.5.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Tanto las distribuciones como el comportamiento del NID son muy similares al nitrato por las razones ya apuntadas. Así, las concentraciones de NID son mayores en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3) y menores en el resto. Además en cada una de ellas éstas van disminuyendo al aumentar la profundidad, con los valores mínimos a las mayores profundidades.

Los perfiles y el comportamiento del NID en cada una de las estaciones, que se representan en las figuras 4.5.24 y 4.5.25, son muy similares a los del nitrato (figuras 4.5.16 y 4.5.17), por lo que todo lo comentado para éste (apartado 4.5.4) es válido también para el NID.

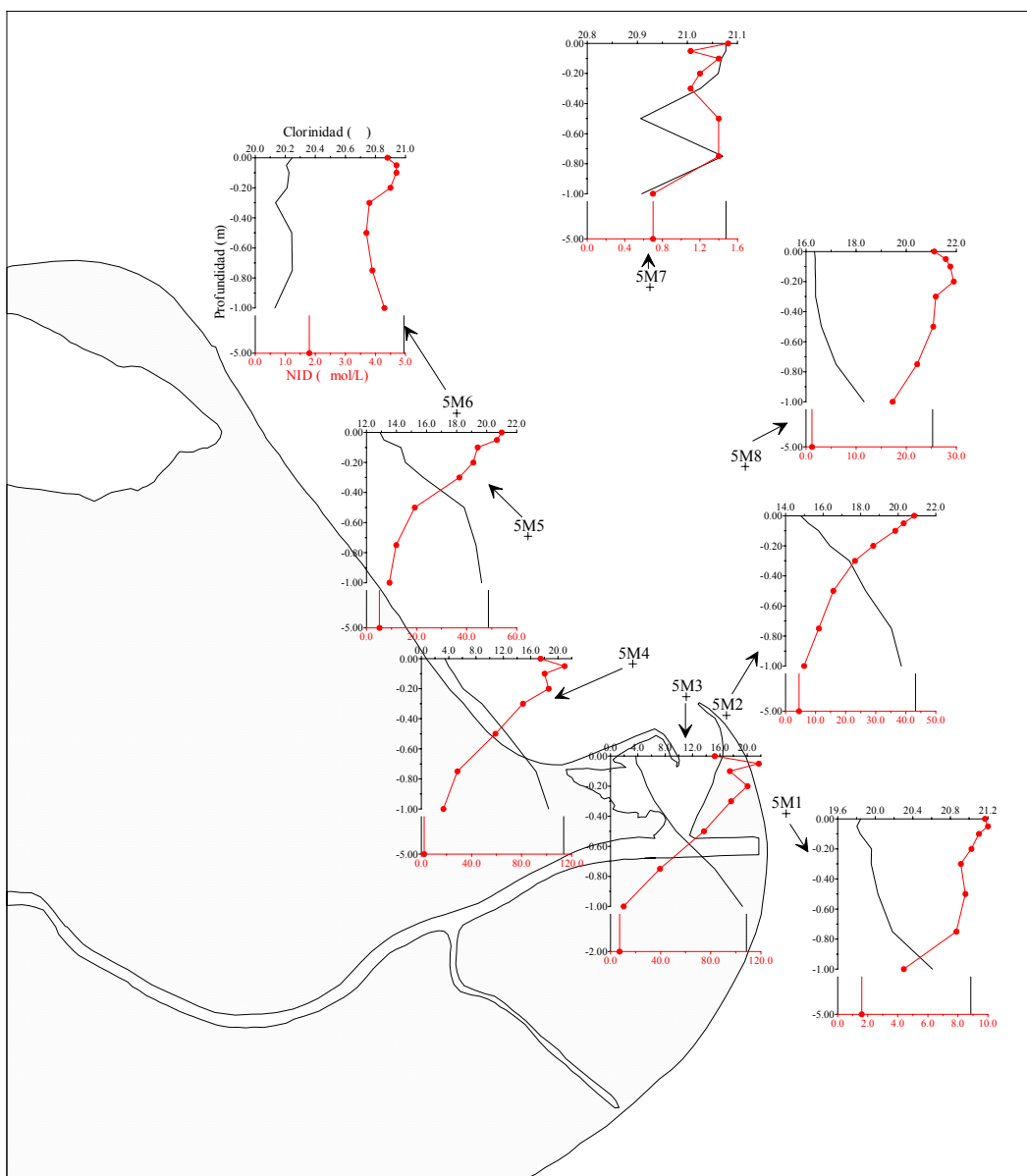


Figura 4.5.24. Perfiles verticales de NID. Muestreo 5.

En la figura 4.5.24 queda patente la esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad, aunque solamente en 5M5 y 5M2 ésta es gradual. En el resto existen diversas discontinuidades en las capas subsuperficiales (20 cm superiores), que pueden achacarse al movimiento y absorción de las comunidades planctónicas, como ya se comentó en el apartado dedicado al nitrato. Caso aparte merece la estación de menor influencia fluvial (5M7), donde los pequeños valores de nitrato encontrados, que son similares a los del amonio, provocan que este perfil de NID no sea tan parecido al del nitrato.

En la figura 4.5.25 se representa el comportamiento del NID en cada una de las estaciones.

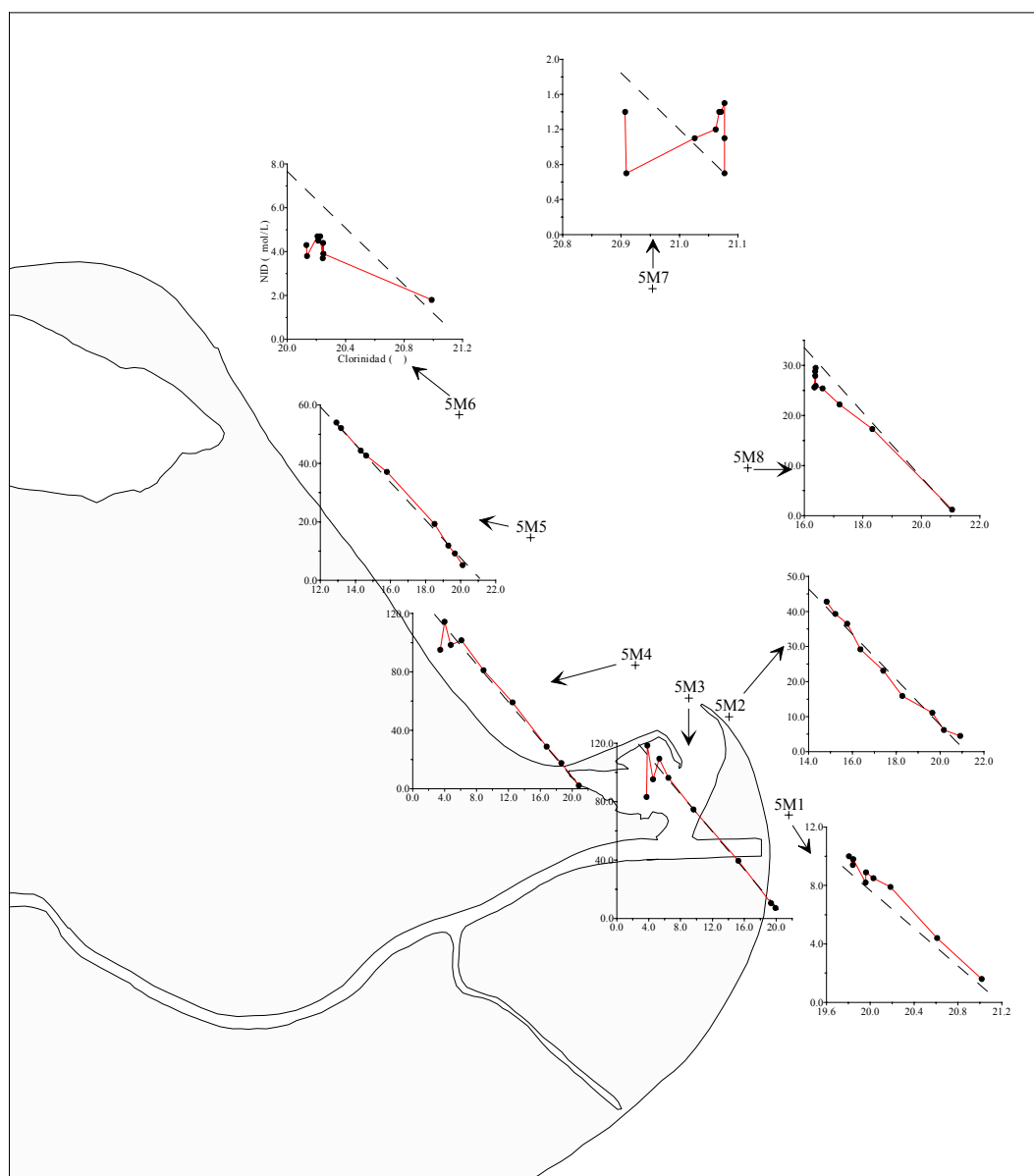


Figura 4.5.25. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

En esta figura 4.5.25 se observa que en todas las estaciones, exceptuando 5M7, la concentración de NID disminuye con la clorinidad. En general, y al igual que ocurría con el nitrato, el NID se comporta de manera conservativa en la mayoría de las estaciones, aunque con pequeñas pérdidas y ganancias en las estaciones de menor influencia fluvial. Estas pequeñas pérdidas pueden achacarse a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre otros procesos, mientras que las ganancias pueden ser debidas a la amonificación, excreción heterótrofa y exudación autótrofa.

En la figura 4.5.26 se representa el comportamiento global del NID en la pluma estuarina, que es bastante conservativo en todo el rango de clorinidad. Solamente a menor clorinidad puede apreciarse pequeñas pérdidas achacables a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre los restantes procesos.

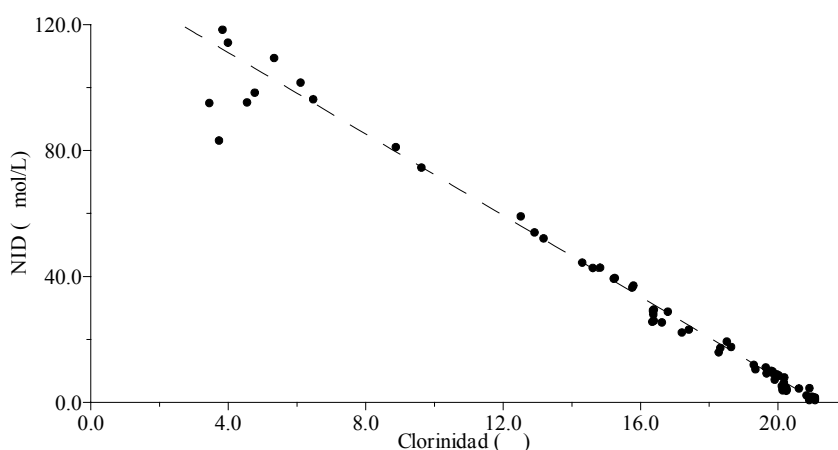


Figura 4.5.26. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

En la tabla 4.5.6 se muestra los datos de fósforo que han sido desechados, al no cumplirse la relación de concentraciones $PSR \leq PDT \leq PT$.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)
5M2-0.75	0.11	<u>0.07</u>	0.25
5M3-0.20	2.17	2.34	<u>1.67</u>
5M4-0.05	2.40	2.60	<u>2.22</u>
5M6-0.50	0.10	<u>0.06</u>	0.12
5M6-0.75	0.10	0.12	<u>0.07</u>
5M6-5.0	0.09	<u>0.14</u>	0.10

Tabla 4.5.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 5.

La concentración de este nutriente tiene un rango de variación muy similar al del muestreo anterior, desde un máximo de 2.47 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 5M4 a 0.00 m, hasta unos mínimos inferiores a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en 5M8 y 5M7 a las mayores profundidades. En la tabla 4.5.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	2.47	0.00	0.03	-5.0
5M3	2.40	0.00, -0.05	0.09	-1.00, -2.0
5M5	0.54	0.00	0.03	-1.00, -5.0
5M2	0.42	0.00	0.03	-5.0
5M8	0.21	-0.30	<0.03	-5.0
5M1	0.25	-5.0	0.15	-0.20
5M6	0.11	-1.00	0.06	-0.05, -0.10
5M7	0.06	0.00, -0.20	<0.03	-0.50, -1.00, -5.0

Tabla 4.5.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Como ya se ha comentado para otros nutrientes, la importancia de los aportes fluviales también se aprecia en este muestreo, encontrándose las mayores concentraciones en las estaciones de mayor influencia continental, y disminuyendo conforme lo hace ésta. En las estaciones de menor clorinidad las concentraciones disminuyen al aumentar la profundidad, encontrándose los máximos generalmente a nivel superficial y los mínimos en los puntos más profundos, mientras que en algunas de menor influencia (5M1 y 5M6) esta pauta se invierte.

En la figura 4.5.27, donde se representa la distribución horizontal de PSR en superficie, se observa que, al igual que ocurre con las formas de nitrógeno, las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3), siendo menores en el resto por las razones ya mencionadas.

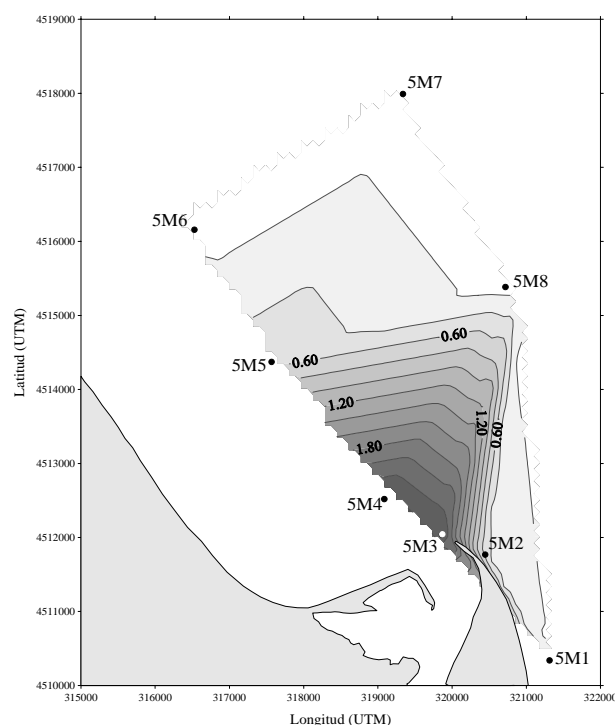


Figura 4.5.27. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 5.

En la figura 4.5.28, donde se muestra un corte vertical del transecto 5M1-5M6, queda patente la disminución de la concentración al aumentar la profundidad, aunque se puede apreciar que en algunas estaciones (5M5, 5M1 y 5M6) existen pequeñas desviaciones de esta pauta general.

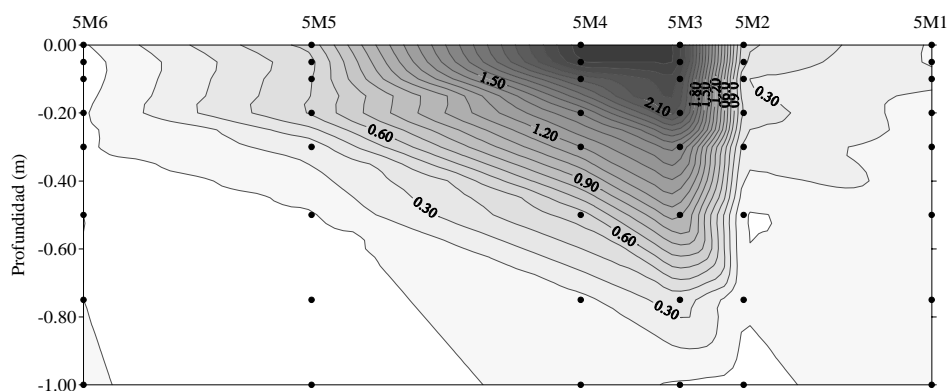


Figura 4.5.28. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el del transecto 5M1-5M6.

Estas desviaciones de la pauta general se puede observar con mayor detalle en la figura 4.5.29, donde se representa los perfiles obtenidos en cada una de las estaciones. En todas las estaciones, excepto en 5M1 y 5M6, las concentraciones encontradas a 0.00 m de profundidad son mayores que a 5.0 m, con lo que queda de nuevo patente la importancia de los aportes fluviales debido al movimiento de las aguas dulces/salobres del río Ebro sobre las más salinas del Mediterráneo. De todas maneras se observa en las estaciones de menor influencia fluvial la

existencia de desviaciones de la pauta general de disminución al aumentar la profundidad. Generalmente éstas suelen producirse en la capa más superficial (0.00-0.20 cm), aunque son de pequeña magnitud, pues no hay que olvidar que las concentraciones en estas estaciones son bastante pequeñas, con lo que un mínimo cambio en éstas implica desviaciones que en un principio podrían parecer de gran envergadura. Estas desviaciones pueden achacarse al movimiento y actividad de las comunidades fitoplanctónicas en esta capa de agua, junto a las variaciones que se producían en la clorinidad en algunas estaciones.

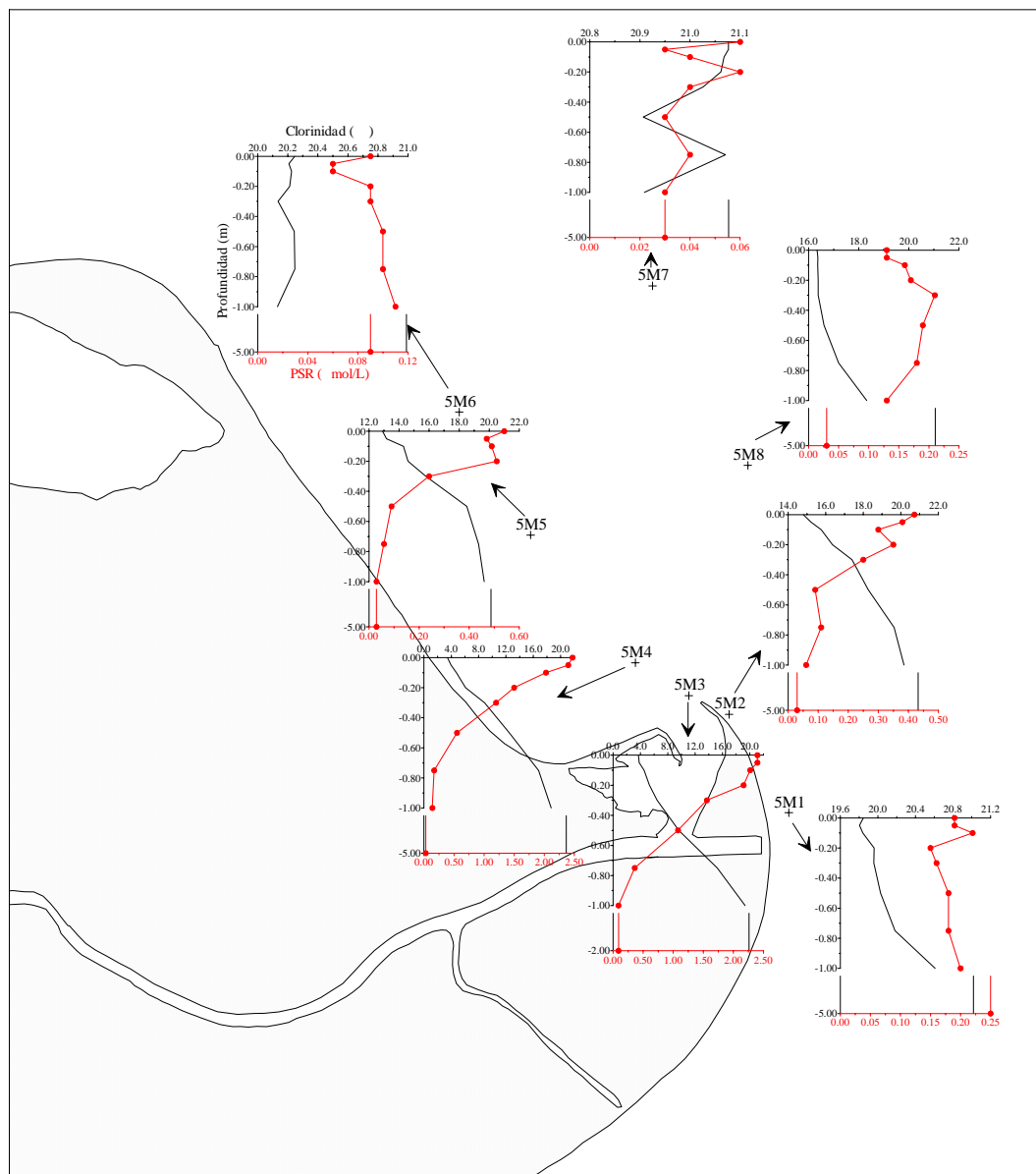


Figura 4.5.29. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 5.

En la figura 4.5.30 se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones. En todas ellas se producen pérdidas

generalizadas, aunque en las de menor influencia fluvial (5M1, 5M6 y 5M7) pueden apreciarse ligeras ganancias en la zona de mayor clorinidad probablemente debido a la excreción de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas. En cambio las pérdidas generalizadas que se producen en todas las estaciones son debidas al elevado consumo por parte de las poblaciones planctónicas que llega a consumir casi completamente el PSR en algunas de las estaciones (5M8 y 5M7).

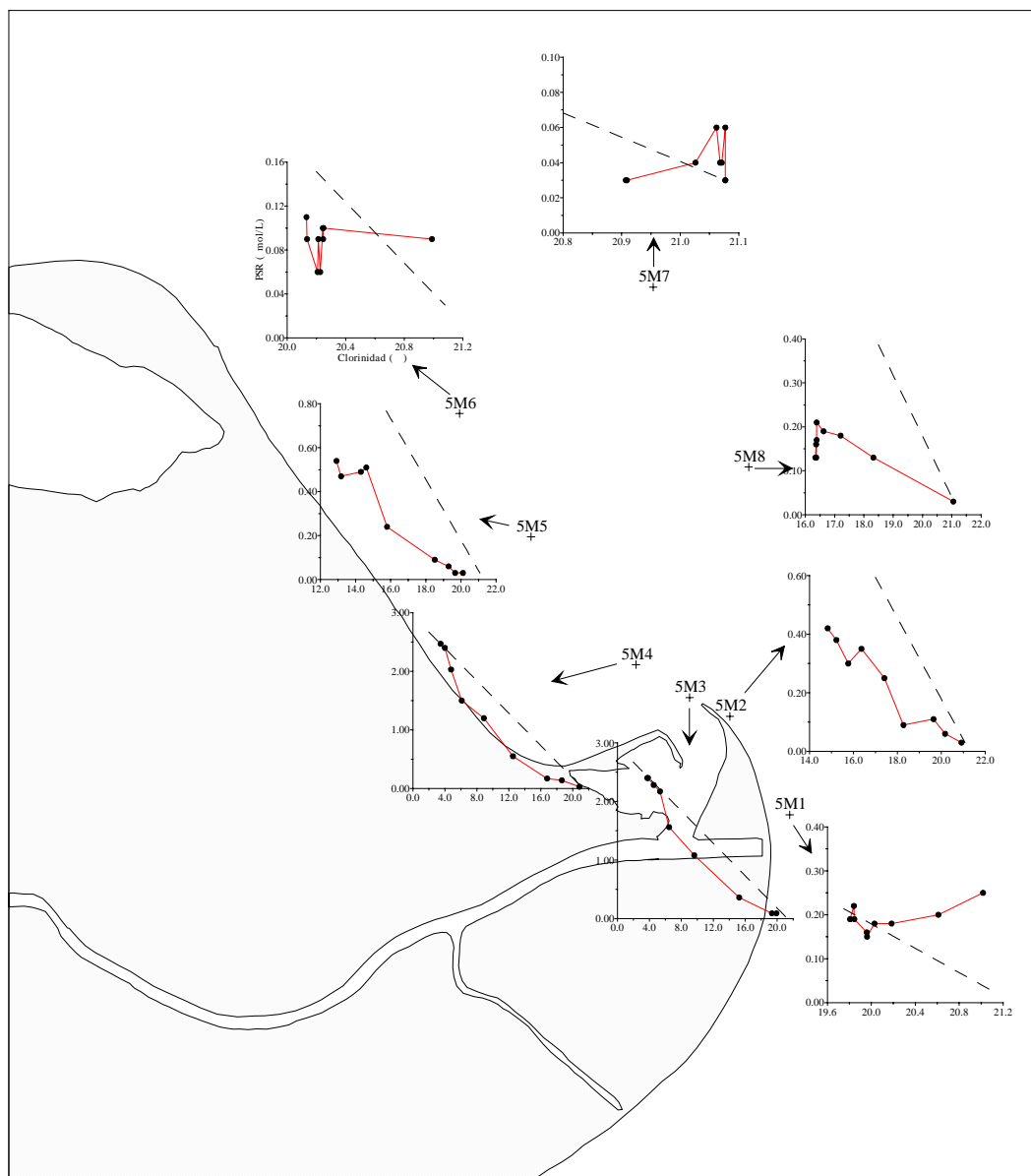


Figura 4.5.30. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

En la figura 4.5.31 se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla englobando las 8 estaciones de la pluma estuarina. Se observa una pérdida generalizada en toda la pluma estuarina debido a que el consumo y

asimilación del fosfato por parte de los diversos organismos planctónicos predomina sobre otro tipo de procesos que aumentan su concentración. Solamente a las mayores clorinidades se observa ciertos aumentos en su concentración que serían achacables probablemente a que predomina la excreción de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción desde las partículas suspendidas.

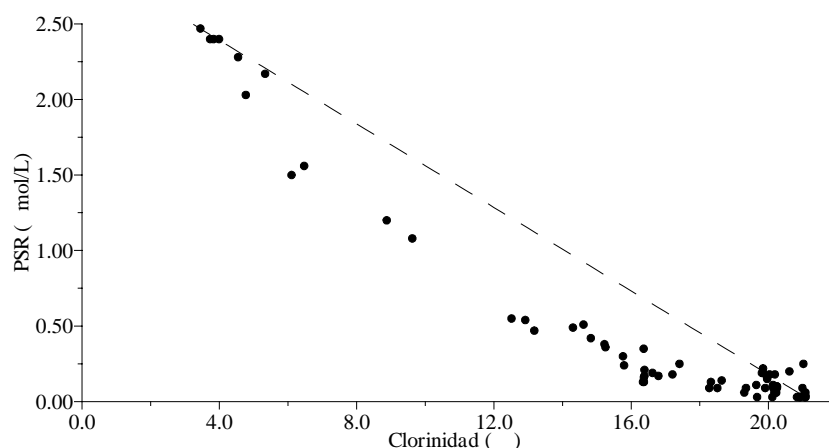


Figura 4.5.31. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

La concentración de fósforo disuelto total (PDT) varía en un rango similar al del muestreo anterior, desde un máximo de 2.60 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 5M4 a 0.05 m de profundidad hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en 5M7 a 0.30, 0.75 y 5.0 m. En la tabla 4.5.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	2.60	-0.05	0.05	-5.0
5M3	2.44	-0.05	0.07	-2.0
5M5	0.92	0.00	0.04	-5.0
5M2	0.69	-0.05	0.04	-5.0
5M8	0.48	-0.20	0.04	-5.0
5M1	0.26	-5.0	0.14	-0.20
5M6	0.12	-0.75, -1.00	0.08	0.00
5M7	0.07	-0.20	<0.03	-0.30, -0.75, -5.0

Tabla 4.5.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

De nuevo, y como era de esperar, es en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3) donde se localizan las mayores concentraciones de PDT, siendo menores en el resto debido a la dilución con las aguas salinas de menor concentración.

En la figura 4.5.32 se representa la distribución superficial a 0.00 m, donde al igual que en el caso de los nutrientes estudiados, las concentraciones de PDT van disminuyendo al alejarnos de la desembocadura al hacerlo la influencia continental.

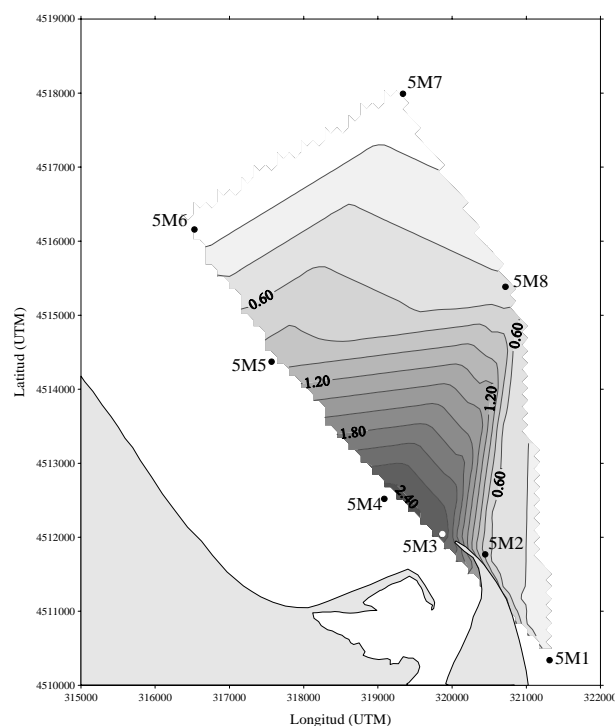


Figura 4.5.32. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 5.

En la figura 4.5.33 se muestra el corte vertical del transecto 5M1-5M6, donde se observa la misma pauta que en el caso del PSR, una disminución general de las concentraciones al aumentar la profundidad.

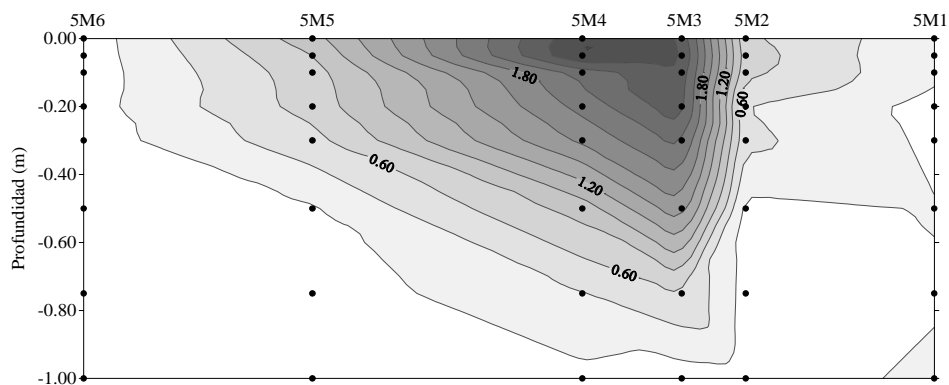


Figura 4.5.33. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 5M1-5M6.

En esta figura 4.5.33 se aprecia pequeñas desviaciones de esta pauta general en la estación 5M1, que pueden verse con mayor precisión en la figura 4.5.34, donde se representan los perfiles en cada una de las estaciones.

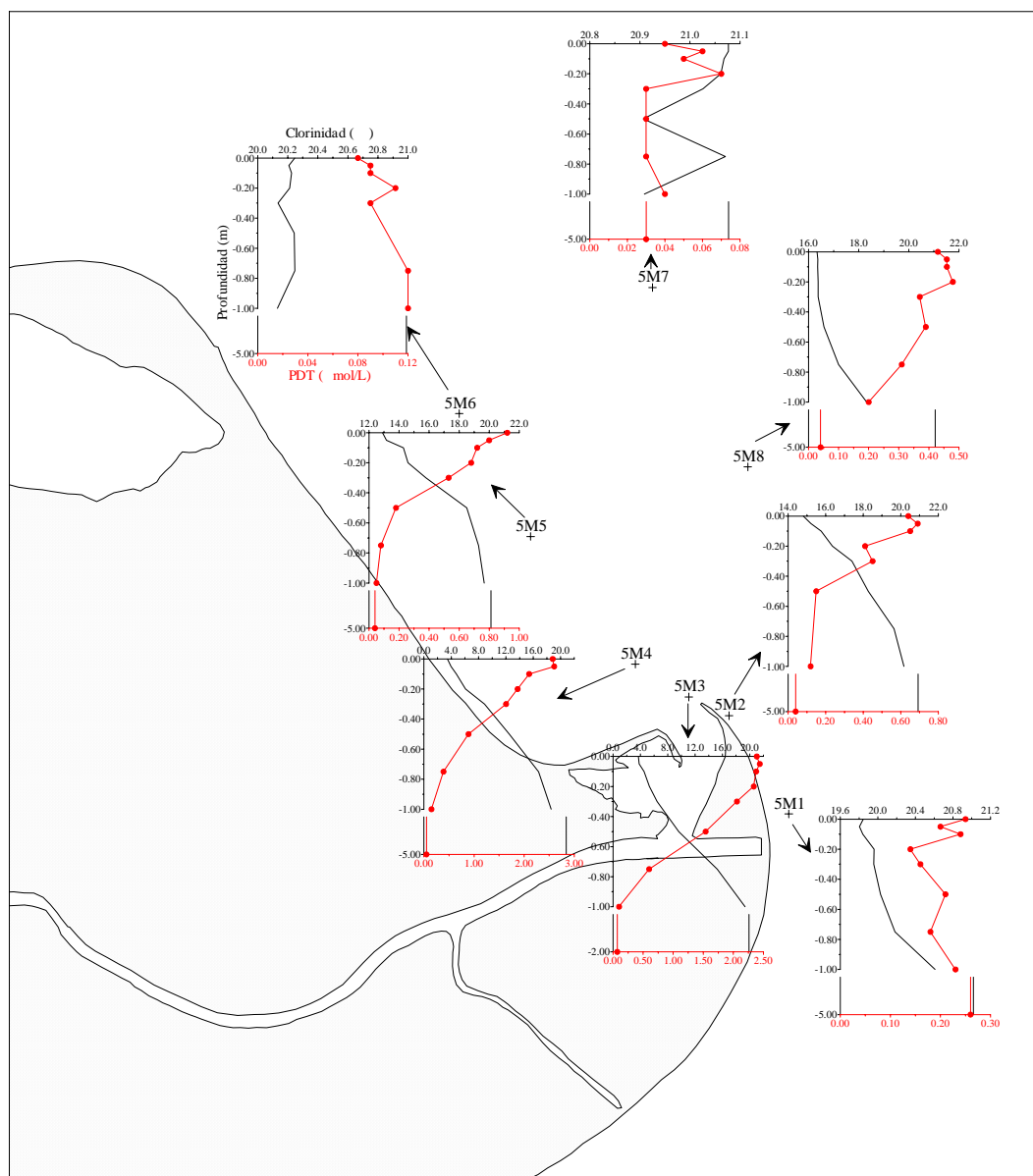


Figura 4.5.34. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 5.

Al igual que ocurre en el caso del PSR, en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4, 5M3 y 5M5) no se observa desviaciones de importancia, disminuyendo gradualmente la concentración conforme aumenta la profundidad. Pero en las estaciones más salinas, el menor valor de sus concentraciones provoca que cualquier mínimo cambio en éstas tenga gran repercusión en sus perfiles. Así en 5M1, 5M6 y 5M7 los valores encontrados en superficie son menores que los

más profundos, y se encuentra variaciones en sus concentraciones (que realmente son de pequeña magnitud) en toda la columna de agua.

Al igual que en otros muestreos, en algunas estaciones (por ejemplo 5M1) los picos de PDT se localizan a la misma profundidad que los de PSR (figura 4.5.29), siendo en otras diferentes (por ejemplo 5M2). Por todo ello, y como era de esperar, podemos decir que las concentraciones de PDT son consecuencia tanto de las formas orgánicas disueltas como de las inorgánicas.

En la figura 4.5.35 se muestra el comportamiento del PDT en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones.

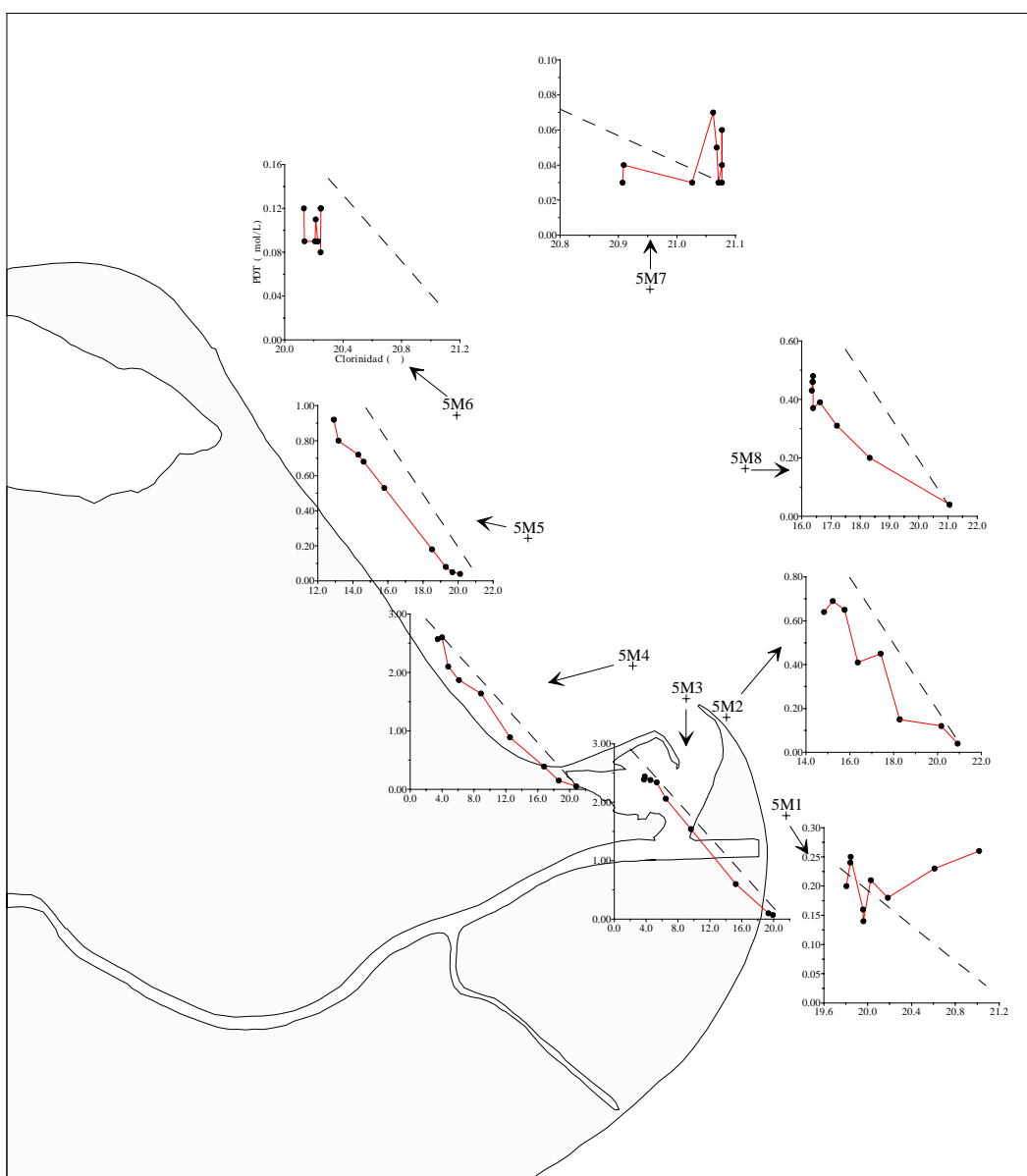


Figura 4.5.35. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

La concentración disminuye al aumentar la clorinidad en las estaciones de mayor influencia fluvial. En cambio en 5M1 y 5M7 las concentraciones en las capas más salinas son mayores que en las de menor clorinidad, como ocurría con el PSR. Aún así, el comportamiento general es de pérdidas, achacables a una predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre otros procesos que aumentarían su concentración. Sin embargo los ligeros aumentos que se producen en las capas más salinas de 5M1 y 5M7 son debidos probablemente a excreciones de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas.

En la figura 4.5.36 se representa el comportamiento global en la pluma estuarina, donde al igual que ocurría con el PSR (figura 4.5.31) la mayoría de las muestras quedan por debajo de la línea de mezcla ideal, al predominar la absorción planctónica. Solamente un pequeño número de muestras a mayor clorinidad y provenientes de las estaciones de menor influencia fluvial (5M1 y 5M7) presentan ligeros aumentos que como ya comentamos anteriormente cabría achacarlos a las excreciones de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas.

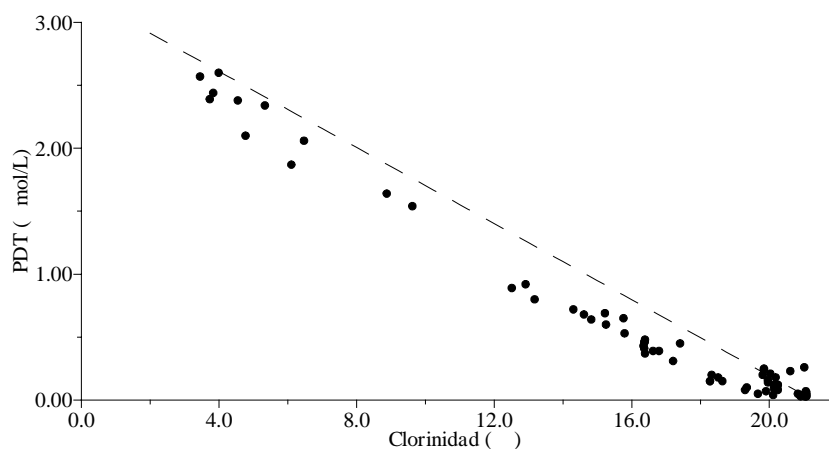


Figura 4.5.36. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.9.- Fósforo Total (PT)

La concentración de PT varía desde un máximo de 2.63 $\mu\text{mol/L}$ localizado en 5M3 a 0.05 m de profundidad, hasta un mínimo de 0.04 $\mu\text{mol/L}$ a 1.00 m en 5M7. En la tabla 4.5.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes. Los mayores valores de PT se localizan como era de esperar en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3), disminuyendo las concentraciones al

hacerlo ésta. En la mayoría de las estaciones los mayores valores se encuentran en superficie y los menores a las mayores profundidades, pero sin embargo en las de menor influencia continental (5M1, 5M6 y 5M7) no se da esta pauta, como posteriormente veremos.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	2.61	-0.05	0.07	-5.0
5M3	2.63	-0.05	0.22	-2.0
5M5	0.93	0.00	0.11	-5.0
5M2	1.00	0.00	0.05	-5.0
5M8	0.70	-0.50	0.06	-5.0
5M1	0.34	-5.0	0.19	-0.20
5M6	0.16	-0.20	0.09	-0.10
5M7	0.19	-5.0	0.04	-1.00

Tabla 4.5.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

En la figura 4.5.37 se ha representado la distribución superficial, observando que las aguas de mayor concentración se encuentran cercanas a la desembocadura, disminuyendo éstas conforme lo hace la influencia fluvial.

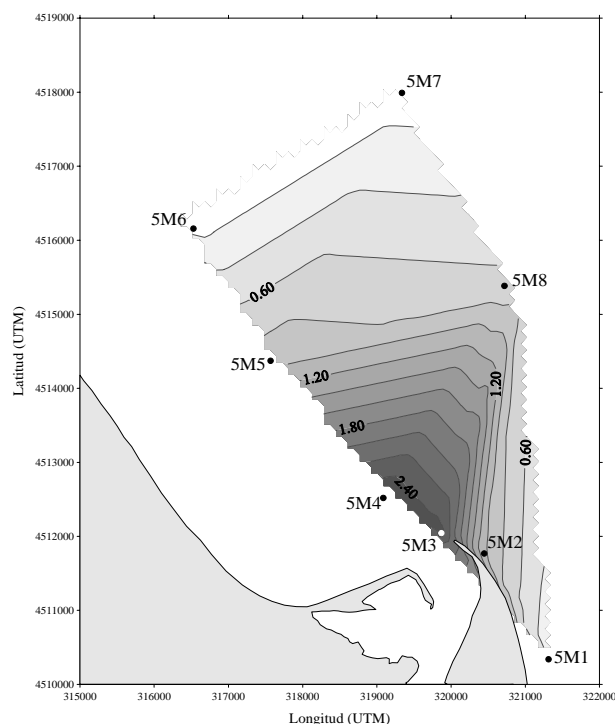


Figura 4.5.37. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 5.

En la figura 4.5.38 se representa la distribución vertical en el transecto 5M1-5M6, donde se aprecia una clara disminución de la concentración de PT al aumentar la profundidad en todas las estaciones.

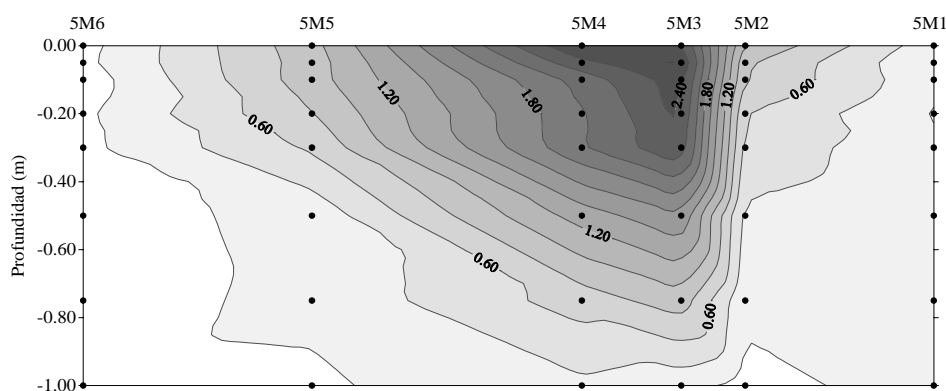


Figura 4.5.38. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 5M1-5M6.

En la figura 4.5.39 se muestra los perfiles para cada una de las estaciones, encontrando diferencias entre ellas:

- En las de mayor influencia fluvial (5M4, 5M3, 5M5 y 5M2) no se encuentran desviaciones importantes de la pauta general de disminución, si acaso alguna de pequeña magnitud en la capa superficial de 5M3.

- En el resto (5M8, 5M1, 5M6 y 5M7) sí que se aprecian desviaciones de diferente magnitud, pues incluso en 5M1 y 5M7 la concentración a 5.0 m es mayor que en superficie. En 5M8 estas desviaciones tienen lugar en la parte superior de la columna de agua, mientras que en las otras tres se dan en toda la columna. Aunque realmente, y como ya se ha indicado para el PSR y el PDT, estas últimas variaciones no son muy importantes debido a los bajos niveles de PT.

Estos perfiles encontrados son bastante similares a los del PDT (figura 4.5.34) en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4, 5M3, 5M5 y 5M2), mientras que no ocurre lo mismo en las otras debido a las bajas concentraciones de PSR, PDT y PT encontradas.

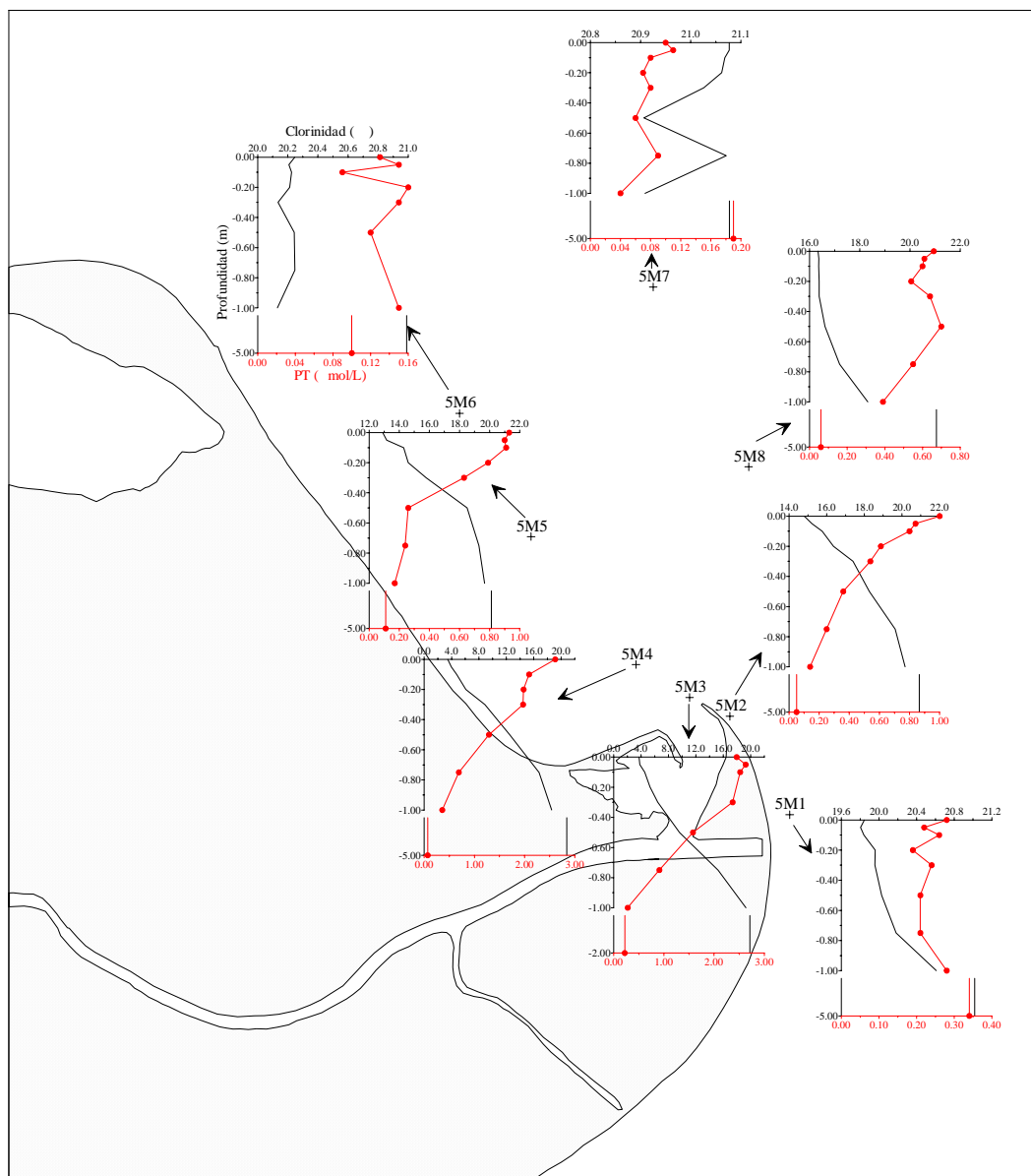


Figura 4.5.39. Perfiles verticales de PT. Muestreo 5.

En la figura 4.5.40 se muestra la variación del PT con la clorinidad en cada una de las estaciones. En general disminuye de manera lineal al aumentar la clorinidad, encontrando algunas pequeñas desviaciones de esta linealidad en las estaciones de menor influencia continental (5M1, 5M6 y 5M7) donde se producen ligeros aumentos de concentración a mayor clorinidad. En la figura 4.5.51 se comprueba más claramente que, al igual que en otros muestreos, todas las muestras quedan muy cercanas a la línea de mezcla ideal, aunque algunas poseen una concentración mayor o menor de lo esperado. Esto nos confirma que es el consumo de las comunidades planctónicas el proceso que provoca las pérdidas encontradas en las formas disueltas, pues éstas pasan a fósforo particulado y provocan que el PT disminuya linealmente con la clorinidad.

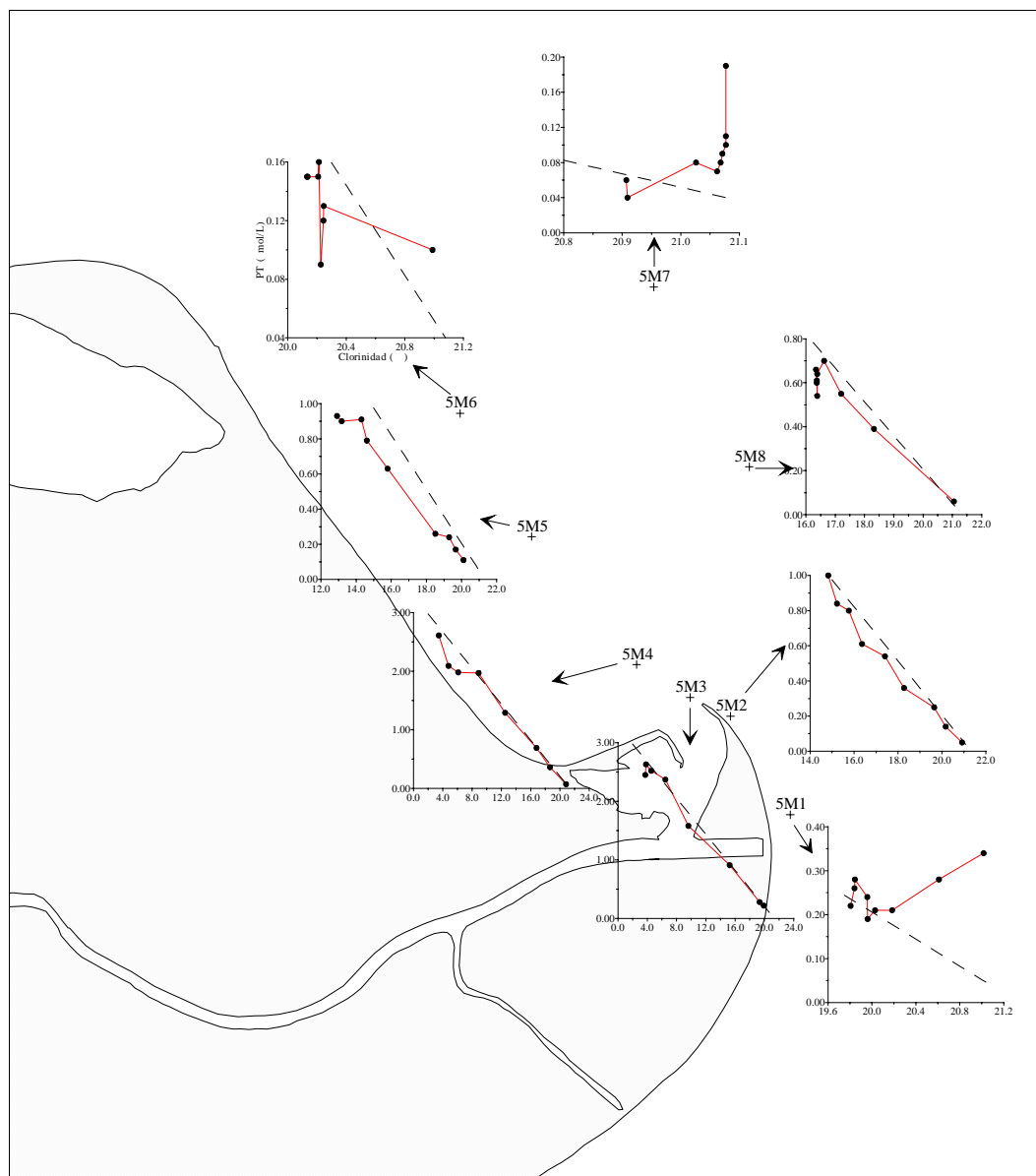


Figura 4.5.40. Variación de la concentración de PT con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

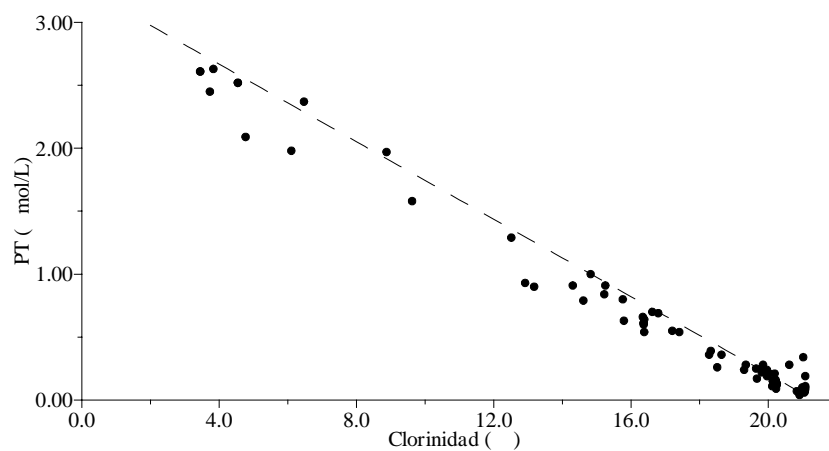


Figura 4.5.41. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.10.- Ácido Ortosilícico

La concentración de ácido ortosilícico en este muestreo posee un rango de variación similar al del muestreo anterior, desde un máximo de 105.0 $\mu\text{mol/L}$ a 0.00 m de profundidad en la estación 5M4 hasta un mínimo de 1.1 $\mu\text{mol/L}$ en 5M7 a 0.50 y 5.0 m. En la tabla 4.5.10 se muestra los valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
5M4	105.0	0.00	2.6	-5.0
5M3	100.0	-0.05	6.5	-2.0
5M5	43.5	0.00	5.5	-5.0
5M2	31.3	0.00	1.5	-5.0
5M8	23.5	0.00	1.5	-5.0
5M1	7.6	-0.05	2.2	-5.0
5M6	5.2	-0.05, -0.10	2.0	-5.0
5M7	2.0	-0.10	1.1	-0.50, -5.0

Tabla 4.5.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Es en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3) donde se localizan las mayores concentraciones, disminuyendo al hacerlo ésta. En todas las estaciones se observa que estas concentraciones disminuyen gradualmente al aumentar la profundidad, encontrando los menores valores a las mayores profundidades.

En la distribución horizontal, representada en la figura 4.5.42, se observa que al igual que ocurre con los otros nutrientes ya comentados anteriormente, las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia continental, disminuyendo conforme lo hace ésta.

En la figura 4.5.43 se representa la distribución vertical en el transecto 5M1-5M6, observándose una progresiva disminución de las concentraciones al aumentar la profundidad y al alejarnos de la boca.

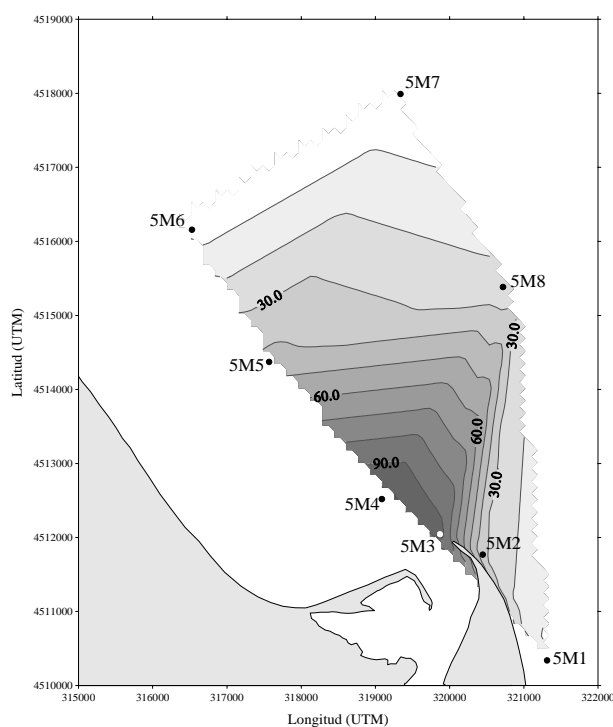


Figura 4.5.42. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 5.

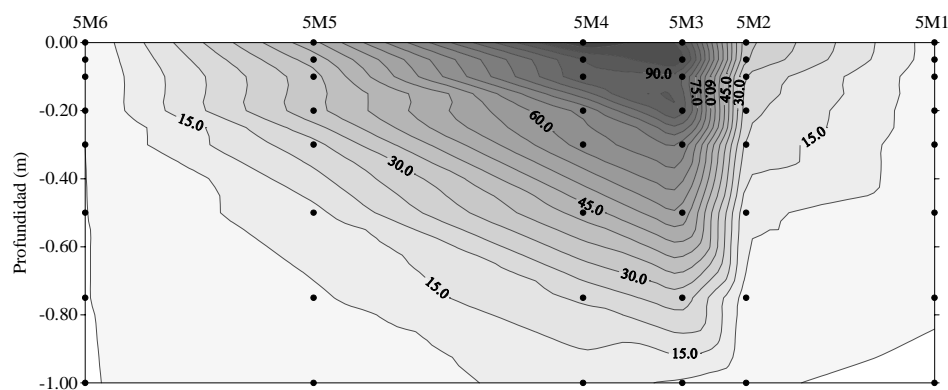


Figura 4.5.43. Distribución espacial de ác.ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 5M1-5M6.

En la figura 4.5.44 se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones de este muestreo. En primer lugar se ha de resaltar que en todas ellas las concentraciones a 5.0 m de profundidad son siempre los valores más bajos, lo que no es sino una muestra más de la importancia de los aportes continentales en la distribución espacial de este nutriente. Podemos observar tres tipos de perfiles:

- En las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4, 5M3, 5M5 y 5M2) las concentraciones disminuyen gradualmente al aumentar la profundidad. Solamente en la estación más cercana a la desembocadura (5M3) se observa desviaciones de esta pauta de disminución en las capas subsuperficiales, probablemente debido a la absorción y movimiento de las comunidades fitoplanctónicas.

- Las dos estaciones de mayor salinidad (5M6 y 5M7), y por tanto menor influencia continental, presentan unos perfiles mucho más homogéneos con variaciones más reducidas y tendiendo a la uniformidad (5M6) o no mostrando una pauta clara (5M7).

- Por último 5M8 y 5M1 presentarían condiciones intermedias con una mayor uniformidad pero con el mismo gradiente, aunque no tan marcado, como el del primer grupo.

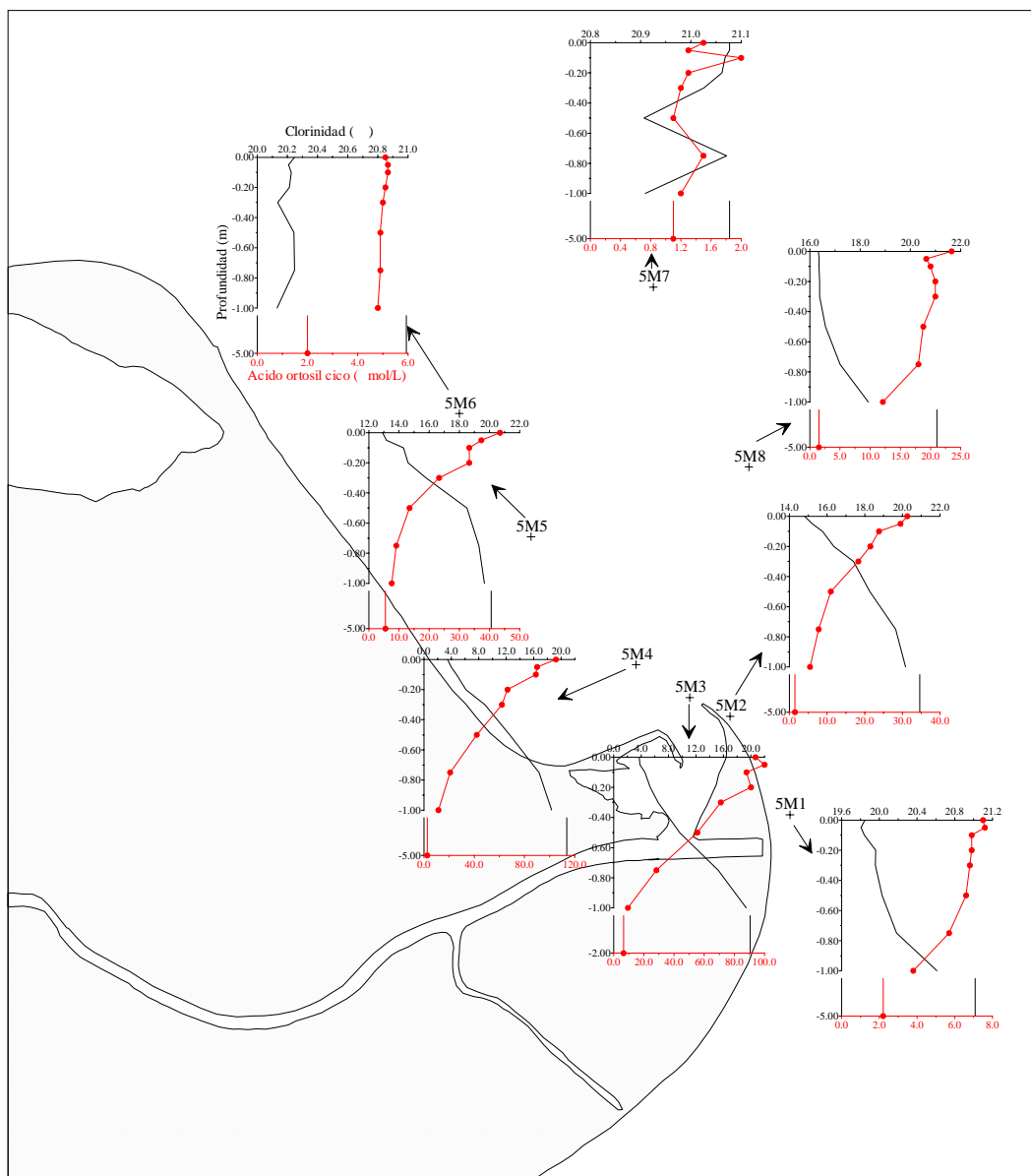


Figura 4.5.44. Perfiles verticales de ácido ortosilícico. Muestreo 5.

En la figura 4.5.45 se ha representado el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina en cada una de las estaciones.

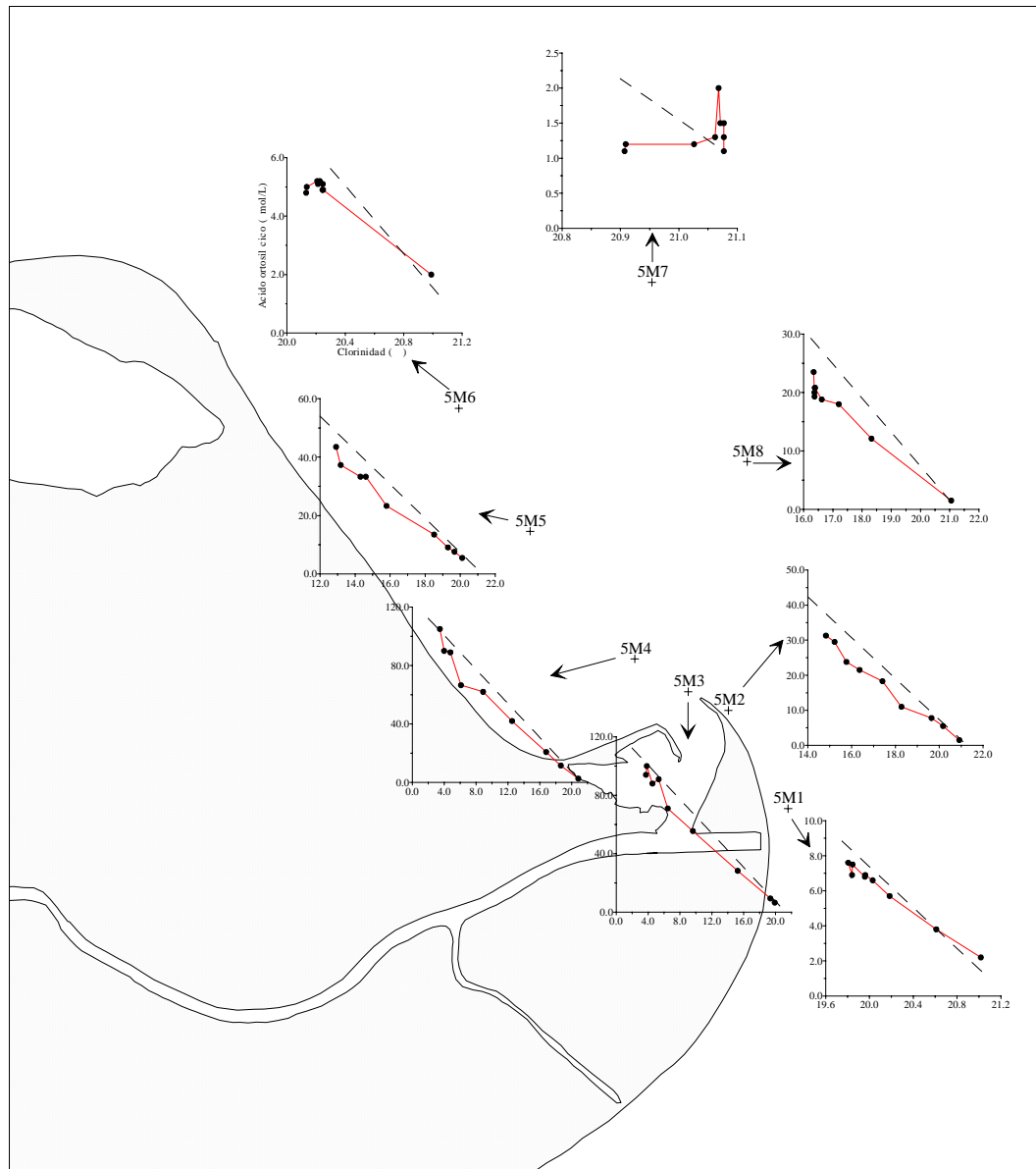


Figura 4.5.45. Comportamiento del ác. ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

Como era de esperar, en todas las estaciones, excepto en 5M7, el ácido ortosilícico disminuye gradualmente al aumentar la clorinidad. En general se aprecian ligeras pérdidas en todas ellas, pérdidas achacables probablemente a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida, aunque la inexistencia de valores cercanos al agotamiento en todas las estaciones nos lleva a pensar que no existe una floración importante de diatomeas, como ya se comentó en otros muestreos. Solamente en las estaciones de menor influencia fluvial (5M1, 5M6 y 5M7) llega a apreciarse unos ligeros aumentos de concentración en las muestras de mayor clorinidad, probablemente debidos a la redisolución de la materia suspendida y/o a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas. También sería una muestra de que, con la reducción

de la influencia continental a un nivel mínimo, la dinámica interna del sistema prevalece sobre los aportes continentales.

En la figura 4.5.46 se representa el comportamiento global en la pluma estuarina, donde se observa que este nutriente posee un comportamiento con ligeras pérdidas en todo el rango de clorinidad que cabe achacar, como ya hemos comentado, a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación.

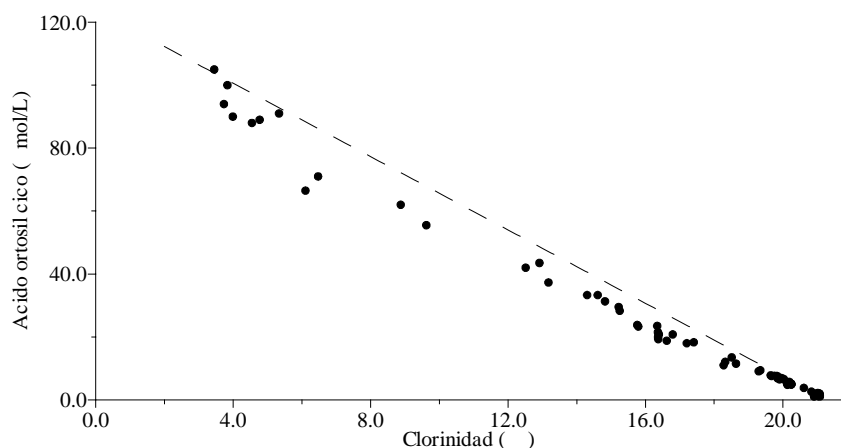


Figura 4.5.46. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.11.- Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* posee un rango de variación bastante similar al del muestreo anterior, desde un valor máximo de 8.07 $\mu\text{g/L}$ a la profundidad de 0.00 m en la estación 5M3 hasta un mínimo de 0.26 $\mu\text{g/L}$ a 0.30 m en 5M7. En la tabla 4.5.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila *a* encontrados.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)
5M4	6.22	-0.10	0.66	-5.0
5M3	8.07	0.00	3.72	-2.0
5M5	4.35	-5.0	1.73	0.00
5M2	3.03	-0.50	0.47	-5.0
5M8	5.21	-0.05	0.42	-5.0
5M1	0.86	-0.50	0.45	-5.0
5M6	3.76	-0.30	0.75	-5.0
5M7	0.49	-0.05	0.26	-0.30

Tabla 4.5.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Hay que destacar que aunque las mayores concentraciones de clorofila *a* se localizan en las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4 y 5M3) a nivel superficial o subsuperficial, también se encuentran altos valores en otras estaciones en las capas más superficiales e incluso en las más profundas (5M8 y 5M5 respectivamente). Por todo ello no cabe esperar que se dé una clara pauta de disminución de estas concentraciones con el aumento de la profundidad y de la clorinidad como sucede con los nutrientes.

En la figura 4.5.47 se muestra la distribución superficial, donde se observa que aunque la concentración de clorofila *a* disminuye al hacerlo la influencia continental, el alto valor localizado en 5M6 provoca esta distribución algo atípica en la parte norte.

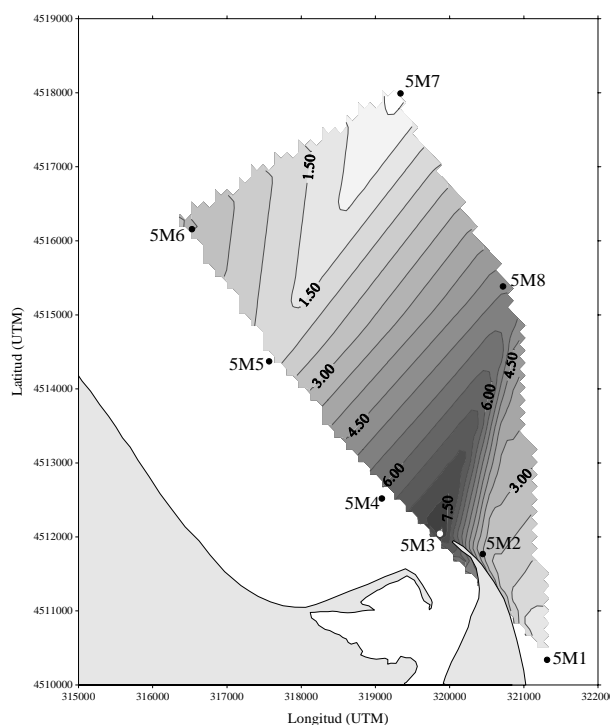


Figura 4.5.47. Distribución superficial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$). Muestreo 5.

La distribución vertical en el transecto 5M1-5M6 se representa en la figura 4.5.48, donde se aprecia que solamente en 5M3 las concentraciones disminuyen al aumentar la profundidad, observando la existencia de diversas variaciones de esta pauta general en el resto de estaciones y a diversas profundidades.

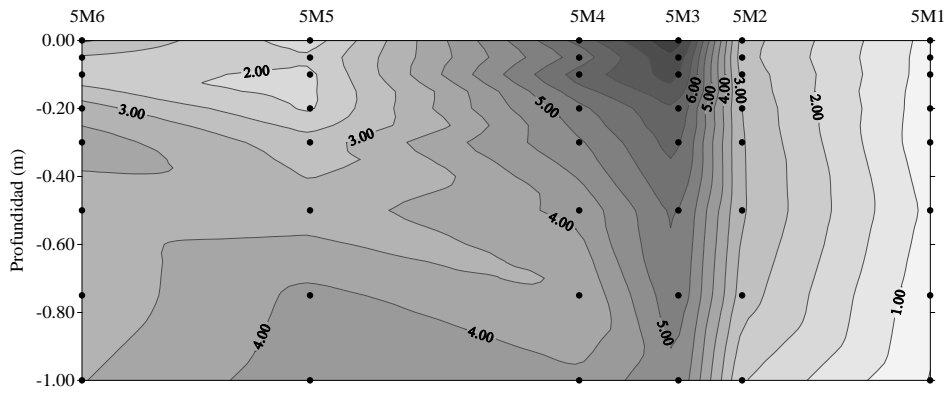


Figura 4.5.48. Distribución espacial de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 5M1-5M6.

En la figura 4.5.49 se representa con mayor detalle los perfiles encontrados en cada una de las estaciones.

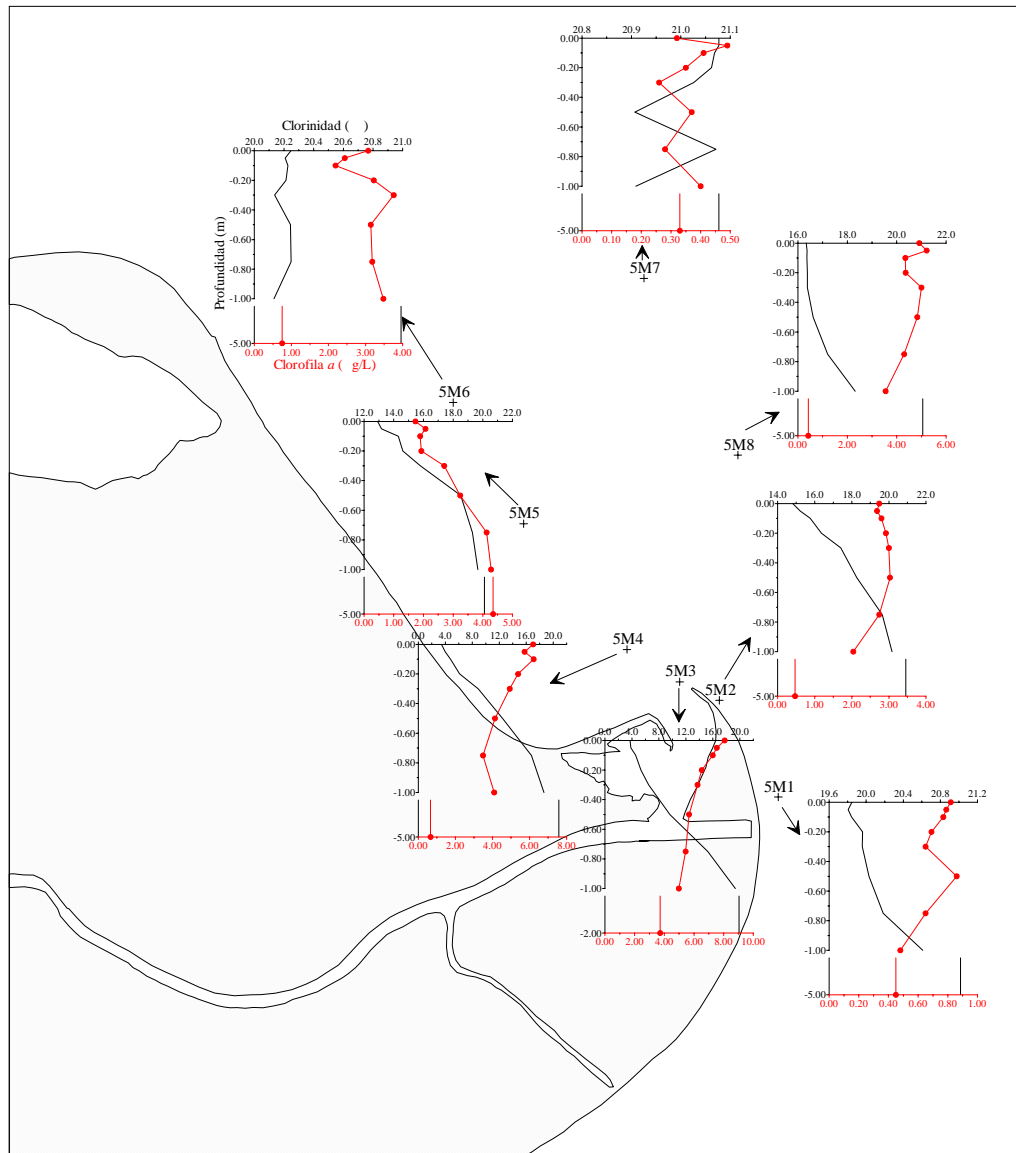


Figura 4.5.49. Perfiles verticales de clorofila a . Muestreo 5.

Como puede apreciarse en esta figura 4.5.49, se encuentran algunas diferencias entre estaciones. En la mayoría de ellas los valores a 5.0 m de profundidad son menores que a 0.00 m, pero en 5M7 ambos se igualan y en 5M5 el valor a 5.0 m es el mayor. Además en todas las estaciones, excepto en 5M3, se encuentran variaciones de diferente magnitud a distintas profundidades, algunas de las cuales se deben a las variaciones en la clorinidad (5M6 y 5M7). Unas se producen en las capas más superficiales (5M4, 5M5 y 5M8) y otras en las más profundas (5M5, 5M2 y 5M1).

En la figura 4.5.50 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones.

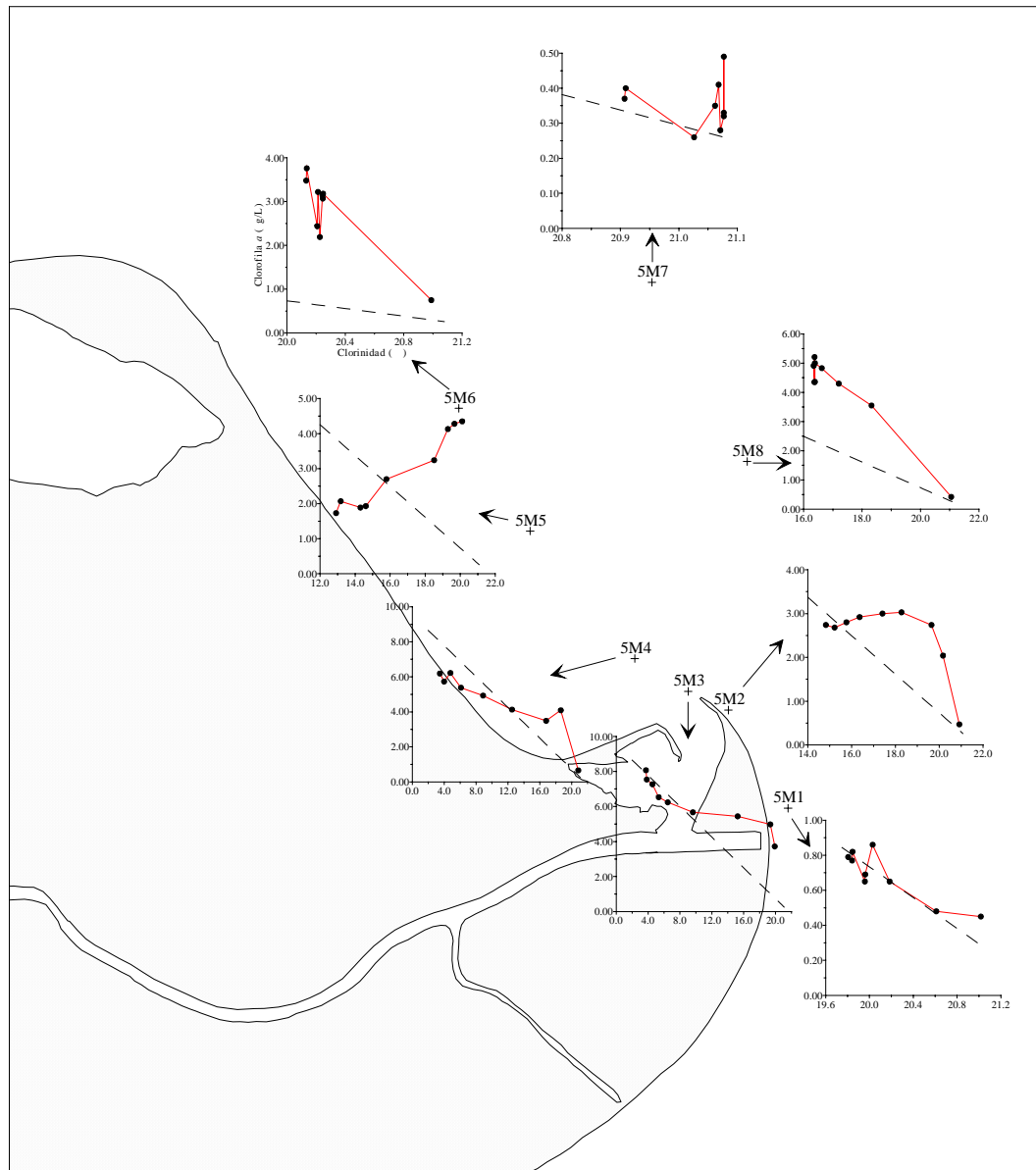


Figura 4.5.50. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 5.

Al igual que ocurre en otros muestreos, en todas las estaciones excepto en 5M5, las concentraciones de clorofila *a* disminuyen al aumentar la clorinidad, pero con diversas variaciones.

- En general en las zonas de menor clorinidad de las estaciones de mayor influencia fluvial (5M4, 5M3, 5M5 y 5M2) y en 5M1 las concentraciones quedan por debajo de la línea de mezcla de origen fluvial, indicando una disminución del número de células fitoplanctónicas, por el denominado estrés salino, por el consumo por parte del zooplancton, por una disminución de la fotosíntesis, etc.

- En cambio a mayores clorinidades ocurre lo mismo que ya se comentó en muestreos anteriores, la comunidad fitoplanctónica parece recuperarse del shock salino y alcanza los niveles que cabía esperar del proceso de mezcla, situándose en la misma línea o en la parte superior.

Como ya hemos visto anteriormente en otros muestreos, y como se muestra en la figura 4.5.51, hasta una clorinidad aproximada de 15‰ estas concentraciones son menores de lo que sería de esperar por la mezcla física entre dos masas de agua de diferente concentración, debido a una disminución del número de células fitoplanctónicas, por el denominado estrés salino, por el consumo por parte del zooplancton, por una disminución de la fotosíntesis, etc. Lo contrario ocurre a mayor clorinidad, donde se produce un aumento de las concentraciones.

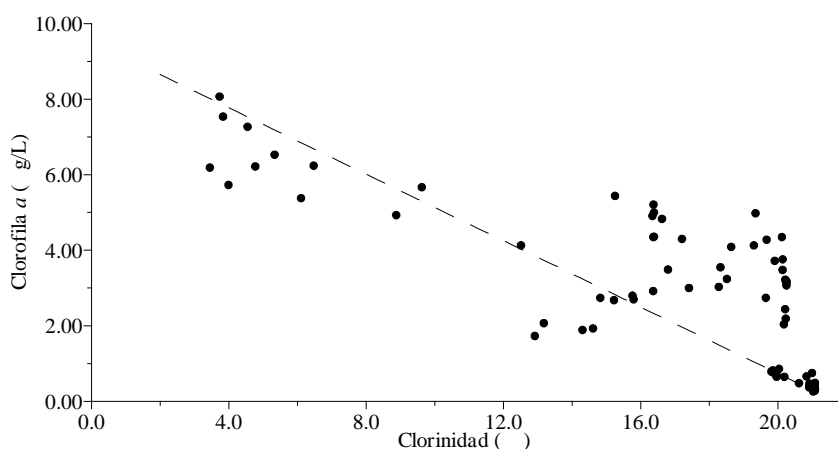


Figura 4.5.51. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 5.

4.5.12.- Relaciones entre nutrientes

a) NID/PSR

La relación NID/PSR posee un rango de variación similar al del muestreo anterior, desde un valor máximo de 306.7 localizado en la estación 5M5 a 1.00 m de profundidad hasta un mínimo de 6.4 en 5M1 a 5.0 m. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.5.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
5M4	169.4	-0.75	38.5	0.00
5M3	116.7	-1.00	34.7	0.00
5M5	306.7	-1.00	83.7	-0.20
5M2	176.7	-0.50	83.4	-0.20
5M8	214.6	-0.05	>40.0	-5.0
5M1	59.3	-0.20	6.4	-5.0
5M6	78.3	-0.05, -0.10	20.0	-5.0
5M7	>46.7	-0.50	20.0	-0.20

Tabla 4.5.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Al igual que ocurre en otros muestreos, no parece existir una clara pauta de variación de esta relación con la profundidad, pues tanto los máximos como los mínimos se localizan a diferentes profundidades, al influir tanto las concentraciones de NID como las de PSR.

En la figura 4.5.52 se representa las variaciones de esta relación con la profundidad para cada una de las estaciones. Al igual que ocurre con el muestreo anterior, se encuentran pocos valores “mayores que” debido a la poca cantidad de muestras donde el PSR está por debajo del límite de detección del método analítico. En este muestreo tampoco se aprecia una pauta general con la profundidad, pues en algunas estaciones esta relación aumenta con la profundidad (como en 5M3) y en otras disminuye (como en 5M1), encontrándose además diversos picos a diferentes profundidades en todas las estaciones. Al contrario de lo que ocurría en anteriores muestreos, si se comparan estos perfiles (figura

4.5.52) con los de NID (figura 4.5.24) y los de PSR (figura 4.5.29), se aprecia una total ausencia de similitud entre ellos.

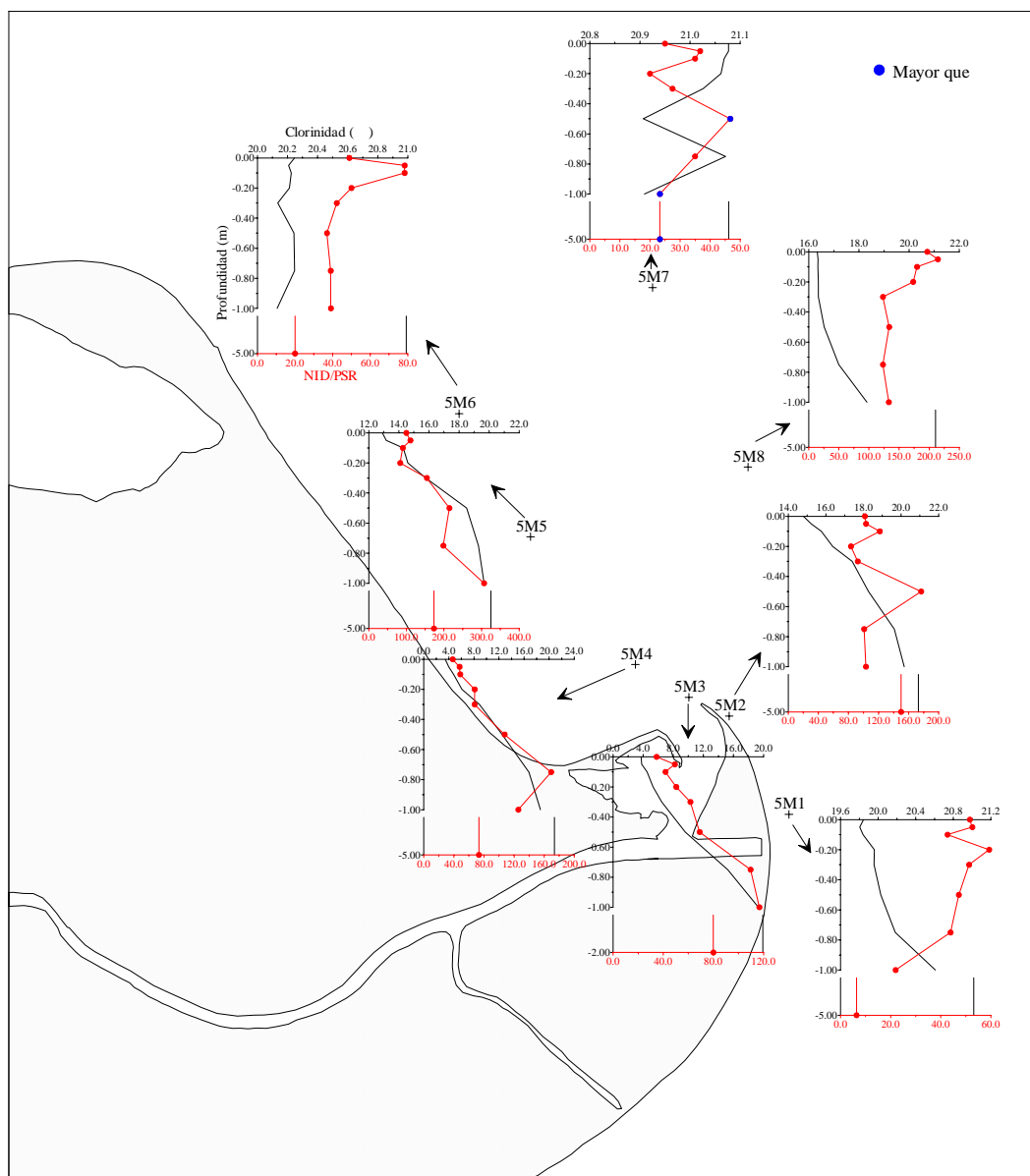


Figura 4.5.52. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 5.

En la figura 4.5.53 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad. Al igual que ocurre con los muestreos anteriores, los valores de NID/PSR son todos mayores de 20 (excepto una sola muestra que se corresponde con la estación 5M1 a 5.0 m de profundidad) debido a las bajas concentraciones de PSR encontradas, por lo que podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante.

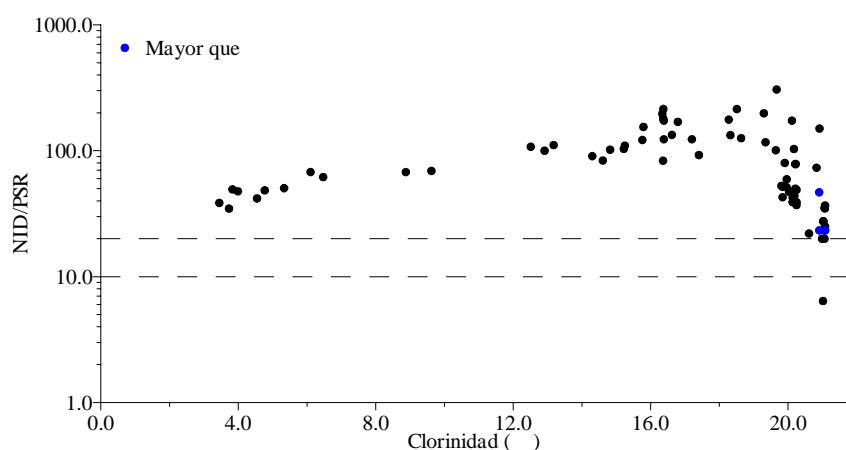


Figura 4.5.53. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 5.

b) NID/Ácido ortosilícico

La relación NID/ácido ortosilícico posee un rango de variación similar al muestreo anterior, desde un máximo de 3.0 localizado en la estación 5M2 a 5.0 m de profundidad hasta un mínimo de 0.6 encontrado en 5M7 a 1.00 y 5.0 m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.5.13.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
5M4	1.5	-0.20, -1.00	0.8	-5.0
5M3	1.4	-0.30, -0.75	0.9	0.00
5M5	1.6	-0.30	0.9	-5.0
5M2	3.0	-5.0	1.1	-1.00
5M8	1.4	-0.05, -0.10, -0.20, -0.50, -1.00	0.8	-5.0
5M1	1.4	-0.10, -0.75	0.7	-5.0
5M6	0.9	0.00, -0.05, -0.10, -0.20, -1.00, -5.0	0.8	-0.30, -0.50, -0.75
5M7	1.3	-0.50	0.6	-1.00, -5.0

Tabla 4.5.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 5.

Lo mismo que se observó en el muestreo del 8 de octubre se aprecia en éste, los bajos valores encontrados debido a la ausencia de concentraciones cercanas al agotamiento para el ácido ortosilícico, y una ausencia total de pauta general tanto en la vertical como en la horizontal, pues los máximos y los mínimos se localizan en cualquier profundidad y además tampoco existe diferencias claras entre estaciones. Todo esto cabe achacarse al pequeño rango de variación que se da en

este muestreo, pues si exceptuamos el valor de 3.0 localizado en 5M2 a 5.0 m, los valores restantes oscilan entre 1.6 y 0.6.

En la figura 4.5.54 se ha representado la variación de esta relación con la profundidad. La similitud entre los perfiles de NID (figura 4.5.24) y los de ácido ortosilícico (figura 4.5.44), provocan la casi constancia de los valores de esta relación en todas las estaciones y en toda la columna de agua. Al igual que ocurre con el muestreo anterior, y debido al pequeño rango de variación de la relación NID/ácido ortosilícico, cualquier mínimo cambio en ésta provoca grandes discontinuidades en sus perfiles.

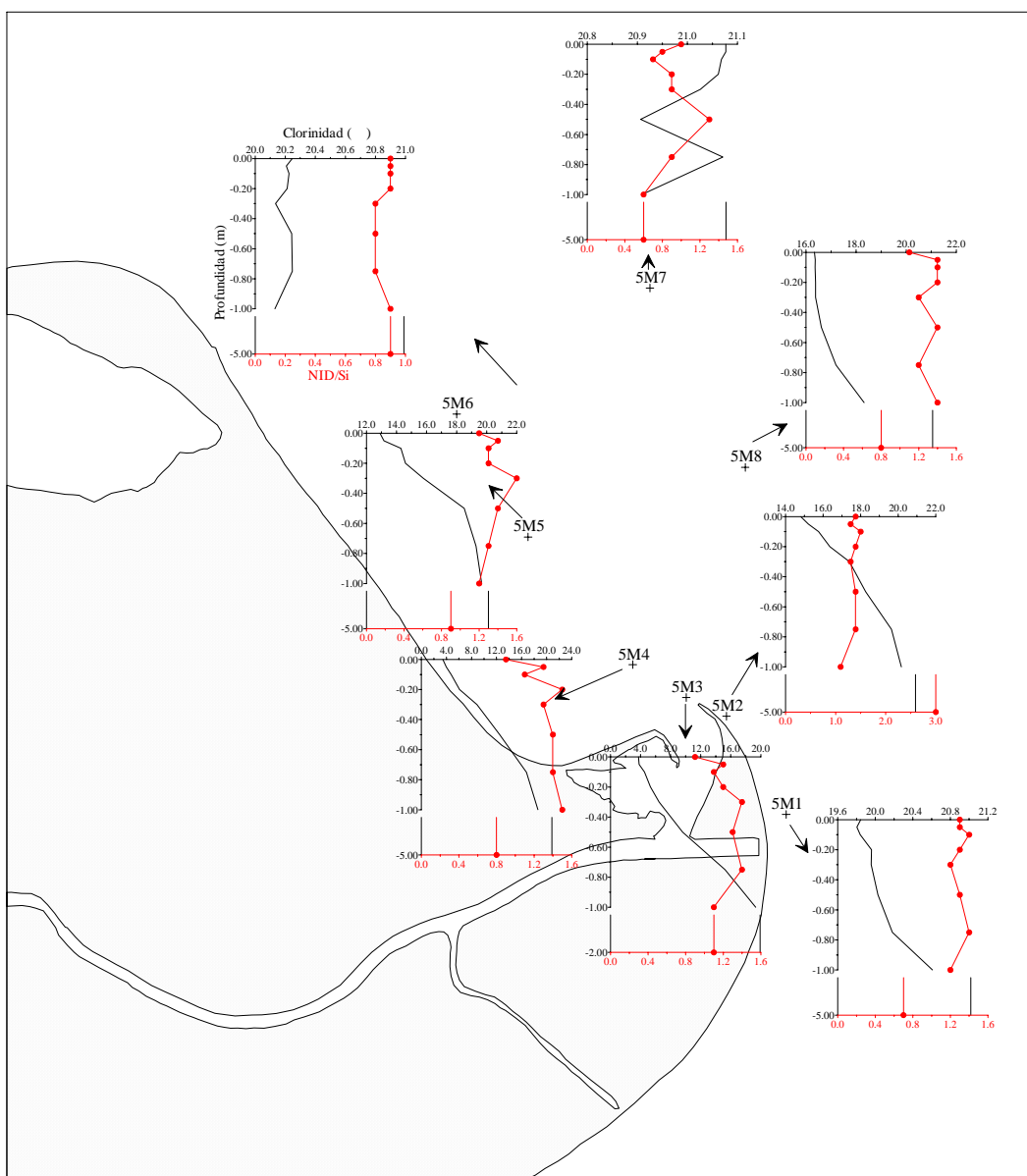


Figura 4.5.54. Perfiles verticales de NID/ácido ortosilícico. Muestreo 5.

En la figura 4.5.55 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad, donde se observa algo similar a lo que ya se comentó para el muestreo anterior. En todo el rango de clorinidades esta relación se mantiene aproximadamente constante en torno a 1, con algunas excepciones. Así, aunque en principio el NID no sería el nutriente limitante (la mayoría de valores son mayores de 1), la cercanía de todos ellos a este valor límite provoca que cualquier mínimo cambio en las concentraciones de NID o de ácido ortosilícico varíe el nutriente que limita el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas.

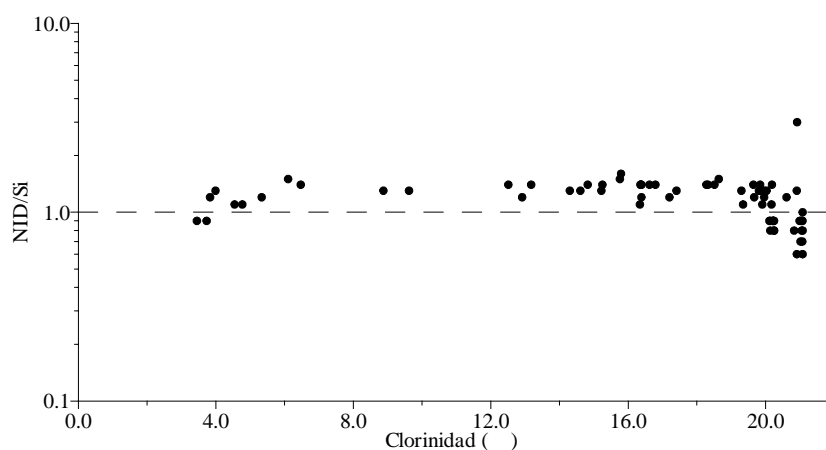


Figura 4.5.55. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 5.

4.5.13.- Tratamiento estadístico

El análisis factorial se ha realizado incluyendo las 9 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*. La matriz de correlación anti-imagen mostrada en la tabla 4.5.14 nos indica que todas las variables son idóneas para el tratamiento estadístico.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	2.746E-03	1.321E-03	2.383E-03	3.066E-03	-2.699E-03	8.029E-04	3.571E-03	2.594E-03	6.860E-03
	Amonio	1.321E-03	0.138	2.867E-03	3.239E-03	-1.293E-02	5.885E-03	3.618E-02	-2.060E-03	2.140E-02
	Nitrito	2.383E-03	2.867E-03	6.136E-03	-1.328E-03	-5.283E-03	-5.414E-04	-5.280E-03	2.186E-03	-5.045E-03
	Nitrato	3.066E-03	3.239E-03	-1.328E-03	1.601E-02	3.684E-03	-3.142E-03	1.707E-02	-1.413E-04	2.366E-02
	PSR	-2.699E-03	-1.293E-02	-5.283E-03	3.684E-03	1.068E-02	-6.629E-03	5.239E-03	-4.359E-03	7.149E-03
	PDT	8.029E-04	5.885E-03	-5.414E-04	-3.142E-03	-6.629E-03	2.061E-02	3.479E-04	5.965E-04	7.681E-03
	PT	3.571E-03	3.618E-02	-5.280E-03	1.707E-02	5.239E-03	3.479E-04	0.131	-2.605E-03	2.659E-02
	Ác. ortosil	2.594E-03	-2.060E-03	2.186E-03	-1.413E-04	-4.359E-03	5.965E-04	-2.605E-03	4.473E-03	-1.074E-03
	Clorofila	6.860E-03	2.140E-02	-5.045E-03	2.366E-02	7.149E-03	7.681E-03	2.659E-02	-1.074E-03	0.325
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.827</u>	6.791E-02	0.581	0.462	-0.498	0.107	0.188	0.740	0.230
	Amonio	6.791E-02	<u>0.958</u>	9.865E-02	6.900E-02	-0.337	0.110	0.270	-8.304E-02	0.101
	Nitrito	0.581	9.865E-02	<u>0.873</u>	-0.134	-0.653	-4.814E-02	-0.186	0.417	-0.113
	Nitrato	0.462	6.900E-02	-0.134	<u>0.918</u>	0.282	-0.173	0.373	-1.669E-02	0.328
	PSR	-0.498	-0.337	-0.653	0.282	<u>0.816</u>	-0.447	0.140	-0.631	0.121
	PDT	0.107	0.110	-4.814E-02	-0.173	-0.447	<u>0.962</u>	6.702E-03	6.212E-02	9.385E-02
	PT	0.188	0.270	-0.186	0.373	0.140	6.702E-03	<u>0.946</u>	-0.108	0.129
	Ác. ortosil	0.740	-8.304E-02	0.417	-1.669E-02	-0.631	6.212E-02	-0.108	<u>0.859</u>	-2.817E-02
	Clorofila	0.230	0.101	-0.113	0.328	0.121	9.385E-02	0.129	-2.817E-02	<u>0.949</u>

Tabla 4.5.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 5.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.893, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Meritorio”. Este análisis nos reduce estas 9 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 89.515% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.5.15. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	8.056	89.515	89.515
2	0.478	5.308	94.823
3	0.259	2.880	97.703
4	0.117	1.299	99.002
5	5.611E-02	0.623	99.626
6	1.582E-02	0.176	99.802
7	9.502E-03	0.106	99.907
8	6.755E-03	7.506E-02	99.982
9	1.602E-03	1.780E-02	100.000

Tabla 4.5.15. Varianza total explicada.

La matriz del único componente extraído se muestra en la tabla 4.5.16, donde se observa que de nuevo los aportes continentales juegan un papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados están íntimamente relacionados con la clorinidad. Como era de esperar, los nutrientes y la clorofila poseen una pauta contraria a la de la clorinidad, teniendo ésta un signo contrario a las restantes.

	Componente 1
Clorinidad	-0.993
Amonio	0.882
Nitrito	0.994
Nitrato	0.974
PSR	0.973
PDT	0.984
PT	0.912
Ácido ortosili.	0.995
Clorofila	0.788

Tabla 4.5.16. Matriz de componentes para el muestreo 5.

4.6.- Muestreo 6 (10 octubre 1999)

4.6.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

El muestreo del 10 de octubre de 1999 se realizó entre las 09:45 y 16:10 horas (GMT) aproximadamente, recogiendo 72 muestras en 8 estaciones. Según la información facilitada por la Generalitat de Catalunya, la temperatura media ambiental en la zona osciló entre los 11-16°C de mínima y los 26-30°C de máxima. La dirección y velocidad del viento predominante durante las horas en las que se realizó el muestreo se muestra en la figura 4.6.1, con datos provenientes de las estaciones meteorológicas de L'Ampolla y Sant Carles de la Ràpita.

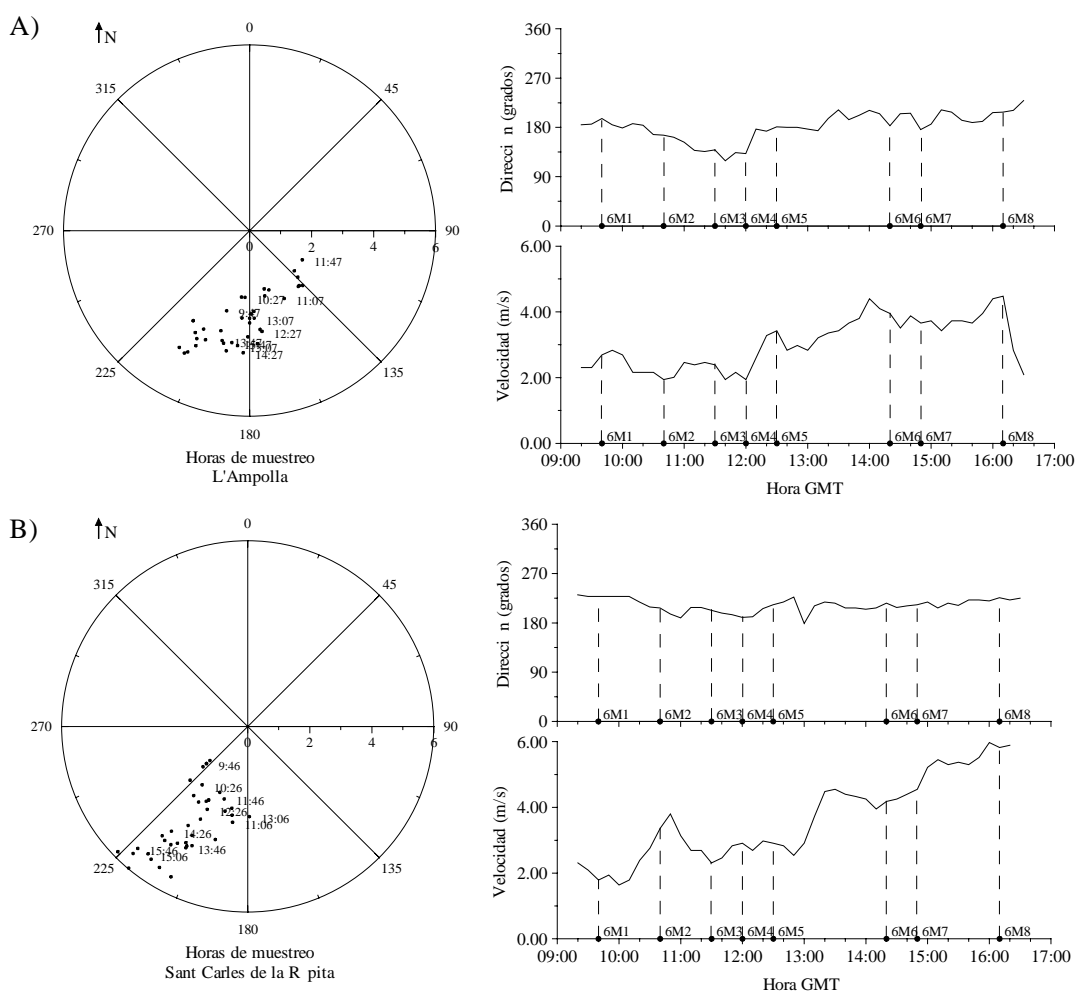


Figura 4.6.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 6.
A) L'Ampolla, B) Sant Carles de la Ràpita.

Las direcciones oscilaron entre 119.0 y 212.0 grados con un promedio de 180.1 grados para la estación de L'Ampolla, y entre 179.0 y 228.0 grados con un

promedio de 210.7 grados para la de Sant Carles de la Ràpita. La velocidad del viento en la estación de L'Ampolla varió entre 1.94 y 4.48 m/s con un promedio de 3.11 m/s, y entre 1.64 y 5.97 m/s con un promedio de 3.66 m/s para la estación de Sant Carles de la Ràpita. En resumen, durante el muestreo los vientos fueron en general de componente sur-suroeste, aumentando gradualmente su velocidad desde muy débil a moderada.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar por las mareas astronómicas y el oleaje, medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla, que puede verse en la figura 4.6.2, posee el mismo rango de variaciones que en los muestreos anteriores. La diferencia de altura máxima encontrada fue de 11.9 cm, por lo que al igual que en los muestreos anteriores consideraremos que las corrientes mareales y el oleaje no tienen gran importancia en este muestreo.

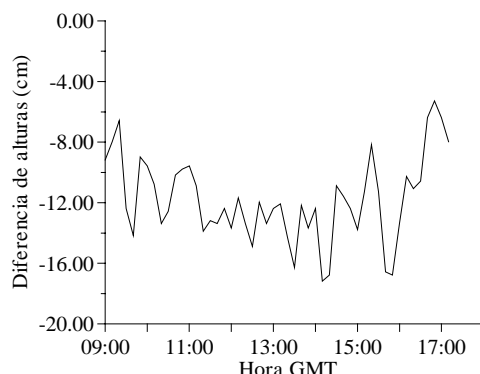


Figura 4.6.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 6.

b.2) Caudales del río Ebro

En la figura 4.6.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo, con los datos procedentes de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en Tortosa. Al igual que ocurre en los muestreos anteriores, los caudales máximos horarios se localizan en las horas de mayor gasto hidroeléctrico, a primeras horas de la mañana y de la noche. Pero, como ya comentamos anteriormente, los caudales medidos en Tortosa no son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura.

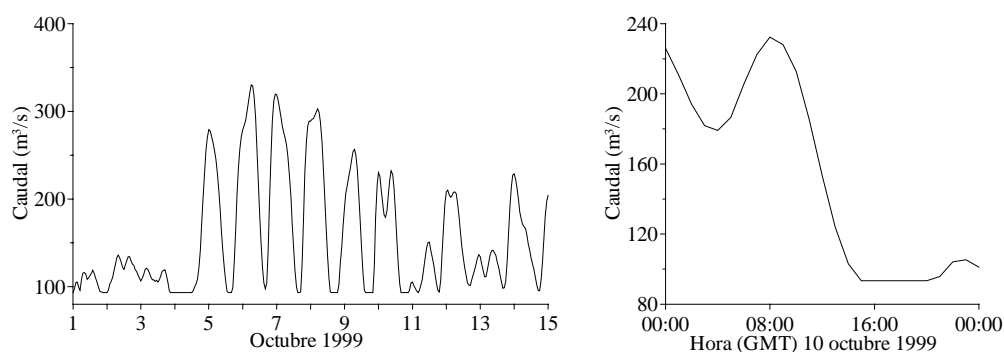


Figura 4.6.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 6.

b.3) Corrientes

En la figura 4.6.4 se ha representado el perfil de velocidades proporcionado por el correntímetro ADP para la estación 6M1, que es la más cercana a la desembocadura del río Ebro. Se aprecia que la velocidad de la corriente va disminuyendo al aumentar la profundidad, hasta llegar a un mínimo aproximadamente a 1.8 m de profundidad, y aumentando posteriormente. De todas maneras, al no observarse un cambio muy brusco de dirección en la corriente, podríamos decir que el cambio de agua dulce/salobre a salina se produce aproximadamente entre 1 y 2 m de profundidad.

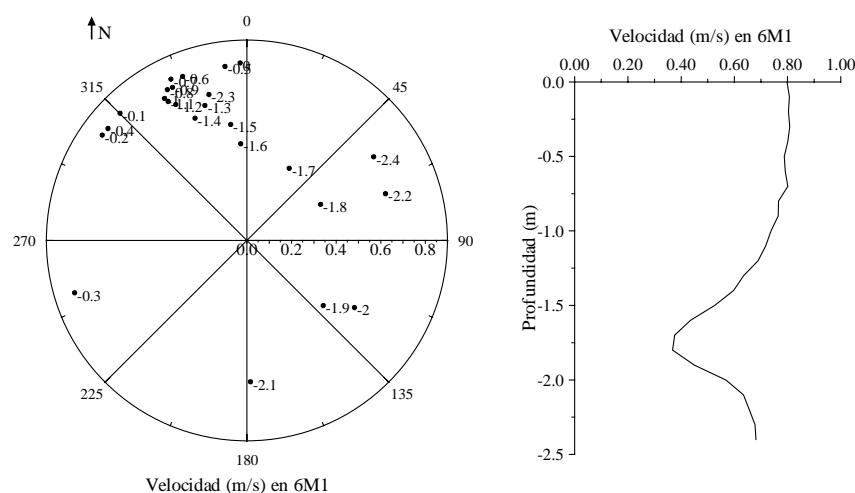


Figura 4.6.4. Dirección (grados) y velocidad (m/s) de la corriente proporcionado por el ADP, en la estación 6M1.

4.6.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

Al igual que ocurre en otros muestreos, en esta campaña también se realizó una medida previa de la conductividad para situar las diferentes estaciones de muestreo, pero los datos obtenidos no parecen ser correctos, por lo que no serán analizados. Con el CTD Seabird se realizaron las medidas de temperatura y

conductividad/salinidad en todas las estaciones, pero las grandes variaciones obtenidas con este dispositivo de medida en la capa de agua más superficial, nos obliga a omitir los valores tanto de temperatura como de conductividad. Solamente se representan en la figura 4.6.5 los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 8 estaciones mediante el SWAS, que se muestran en la tabla A.11 del Anexo.

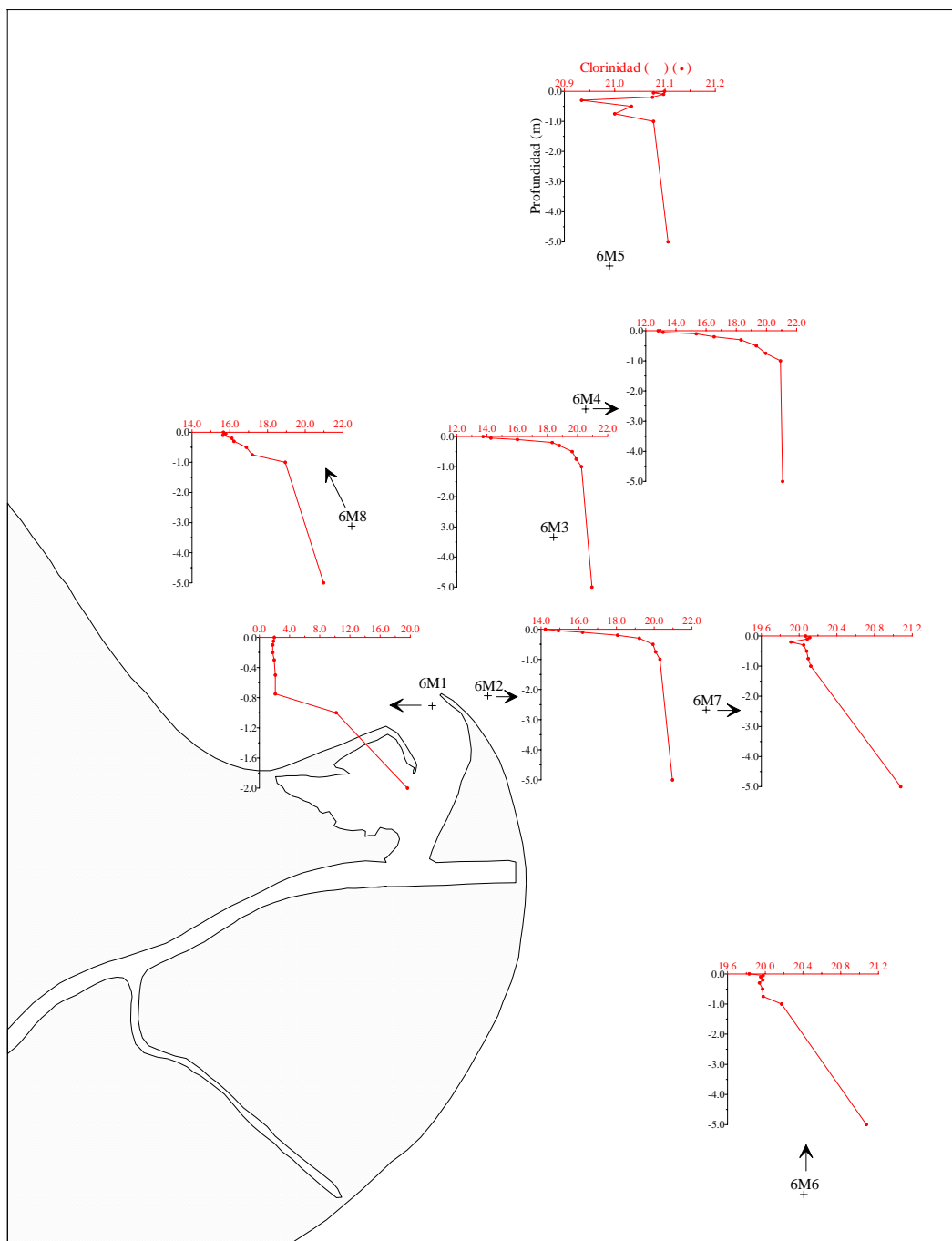


Figura 4.6.5. Perfiles de clorinidad (‰) (•) de las muestras de agua para el muestreo 6.

a) Temperatura

Igual que en el muestreo anterior, la gran variación obtenida en los valores más superficiales nos impide estudiar los resultados de la temperatura obtenida con el CTD Seabird.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

En la figura 4.6.5 se observa los valores provenientes de la toma de muestras mediante el SWAS, que nos aportan una gran precisión en la capa de agua más superficial.

En la tabla 4.6.1 se han especificado los valores máximos y mínimos de clorinidad (‰) de las muestras de agua recogidas a distintas profundidades en cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
6M1	19.607	-2.0	1.750	-0.10
6M4	21.064	-5.0	12.823	0.00
6M3	20.956	-5.0	13.744	0.00
6M2	20.971	-5.0	14.228	0.00
6M8	20.969	-5.0	15.631	-0.10
6M6	21.073	-5.0	19.830	0.00
6M7	21.077	-5.0	19.913	-0.20
6M5	21.106	-5.0	20.934	-0.30

Tabla 4.6.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 6.

Como ya se ha comentado en los muestreos anteriores, debido a la diferencia de densidad entre las aguas dulces/salobres del río y las salinas del mar, los máximos de clorinidad se encuentran en las capas más profundas de cada una de las estaciones. Los mínimos se localizan generalmente en las capas más superficiales, aunque existe alguna excepción en las estaciones 6M1, 6M8, 6M7 y 6M5 por razones que más adelante apuntaremos.

En la tabla 4.6.1 se aprecia que la clorinidad va variando entre las diferentes estaciones, aumentando desde la estación situada en la boca del río Ebro (6M1)

hasta la situada más al norte (6M5). Esto mismo se observa en la figura 4.6.5, donde se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones, quedando patente la influencia del viento proveniente del sur-suroeste sobre la morfología de la pluma estuarina, que da lugar al desplazamiento de ésta hacia el norte-noreste (hacia la estación 6M4). Es de destacar la menor clorinidad encontrada en 6M4 respecto a 6M3 en los primeros 50 cm de la columna de agua y en 6M6 respecto a 6M7, aunque éstas (6M3 y 6M7) se encuentren más cercanas a la desembocadura, que cabría achacar a las condiciones hidrodinámicas existentes en este día de muestreo. Esto deja de nuevo patente que la cercanía de la boca del río no implica necesariamente una mayor influencia fluvial, teniendo importancia las condiciones hidrodinámicas existentes en la zona de estudio y en el día de muestreo.

En esta misma figura 4.6.5 se aprecia también el esperado aumento de la clorinidad al aumentar la profundidad observando los cambios más drásticos en el primer metro de la columna de agua, de las estaciones con mayor cantidad de agua dulce/salobre (6M1, 6M4, 6M3, 6M2 y 6M8). Al igual que ocurre en otros muestreos, en éste también se puede observar algunas desviaciones de esta pauta general de aumento con la profundidad en algunas estaciones:

- En la estación de mayor influencia continental (6M1) se aprecia que la capa dulce/salobre de la pluma estuarina posee un espesor aproximado de 75 cm.

- En las estaciones de menor influencia fluvial (6M8, 6M6, 6M7 y 6M5) se observa diversas discontinuidades en sus perfiles, que pueden achacarse tanto a que el menor rango de variación encontrado en el primer metro de columna de agua provoca que cualquier mínimo cambio tenga repercusiones importantes en sus perfiles (6M5), como a la entrada de agua más salina por superficie debido al efecto del viento proveniente del sur-suroeste (6M7 y 6M5).

En la figura 4.6.6 se muestra un corte vertical del transecto formado por las estaciones 6M1, 6M3, 6M4 y 6M5, donde se aprecia que la clorinidad aumenta al hacerlo la profundidad y al alejarnos de la desembocadura. La pluma se traslada hacia las estaciones 6M4 y 6M5 situadas en el norte, debido al efecto del viento.

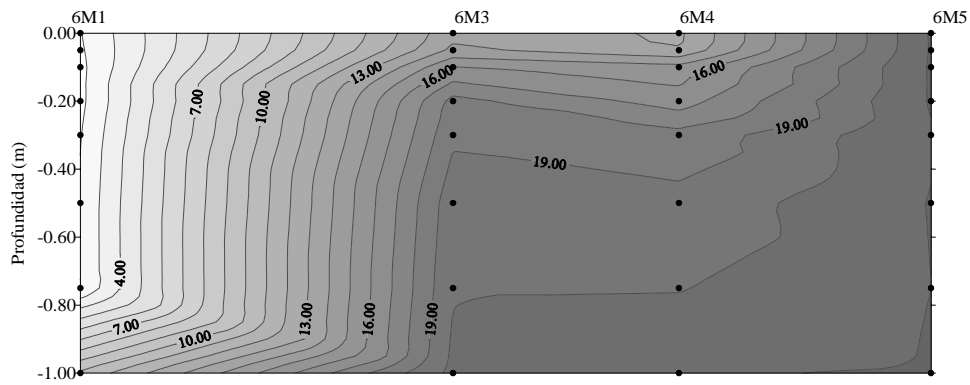


Figura 4.6.6. Perfil vertical de clorinidad (‰) del transecto 6M1-6M5 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

En la figura 4.6.7(a) se representa la distribución superficial de la clorinidad (‰), utilizando el programa Surfer. La estación 6M2 posee mayor clorinidad superficial que la 6M3, aún a pesar de estar situada más próxima a la boca del río, al estar “físicamente” detrás de una de las “flechas” de la desembocadura. Esto, unido a que en el programa Surfer utilizado para crear esta distribución no existe la posibilidad de introducir “barreras físicas”, provoca que no llegue a apreciarse del todo el esperado movimiento de la pluma estuarina hacia el norte-noreste por efecto del viento proveniente del sur-suroeste. Por esto se ha representado también la distribución superficial “a mano alzada” (b) en la que se observa más claramente el desplazamiento de la pluma estuarina hacia el norte-noreste.

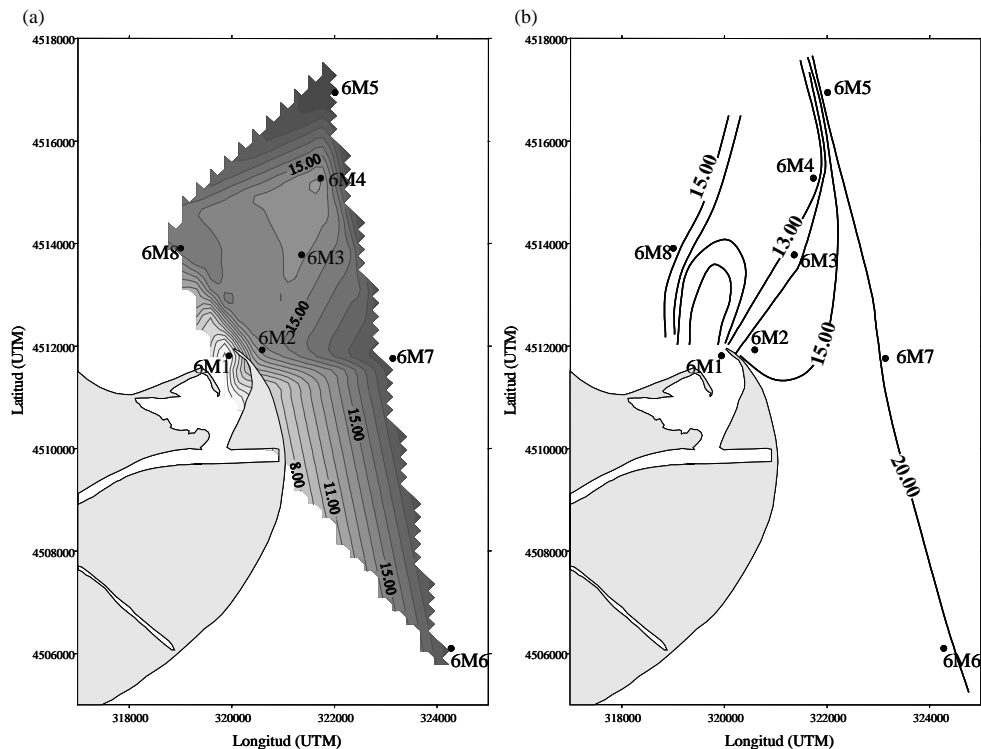


Figura 4.6.7. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a 0.00 m para las 8 estaciones del muestreo 6.

En la figura 4.6.8 se ha representado las distribuciones horizontales a todas las profundidades. Se ha decidido prescindir de la representación de éstas utilizando el programa Surfer por las razones anteriormente comentadas, y se han dibujado “a mano alzada” las distribuciones esperadas a partir de los valores de clorinidad obtenidos en cada una de las estaciones.

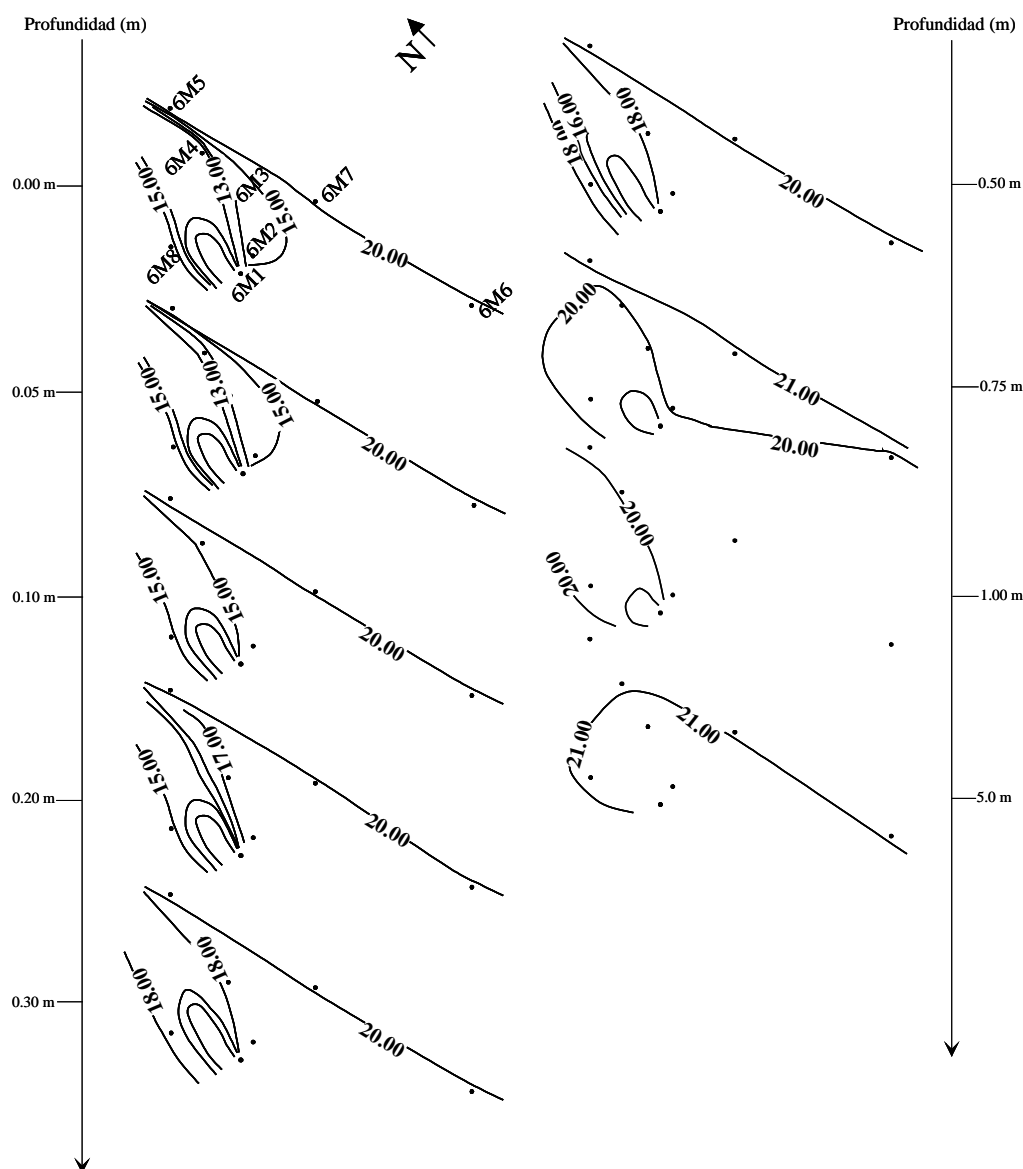


Figura 4.6.8. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 6.

En esta figura 4.6.8 se observa, debido al efecto del viento, un desplazamiento de las aguas dulces/salobres del río hacia la estación 6M4 situada en el norte-noreste de la desembocadura hasta una profundidad de 0.75 m. Sin embargo a mayores profundidades se observa una mayor homogeneidad sin diferencias marcadas entre las diferentes estaciones.

4.6.3.- Amonio

La concentración de este nutriente tiene un rango de variación similar a los dos muestreos anteriores (8 y 9 de octubre), aunque las concentraciones en las capas más salinas son algo superiores. Varía desde un máximo de 3.7 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 6M1 a la profundidad de 0.50 m, hasta un mínimo de 0.7 $\mu\text{mol/L}$ que se encontró en 6M3 a 0.75 m. En la tabla 4.6.2 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	3.7	-0.50	2.4	0.00
6M4	3.0	-0.10	1.3	-0.50
6M3	3.2	-0.10	0.7	-0.75
6M2	2.8	-0.10	0.8	0.00
6M8	2.4	-0.05, -0.10	0.8	-0.50
6M6	2.6	-0.50	1.5	0.00, -0.10, -0.20, -5.0
6M7	2.4	-0.10	1.2	-1.00
6M5	3.3	-0.75	1.5	0.00, -0.20, -0.30, -0.50

Tabla 4.6.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

Lo primero a resaltar es que no parece encontrarse ninguna pauta clara en sus concentraciones. De hecho tanto los máximos como los mínimos se encuentran indistintamente tanto a nivel superficial como profundo. Además la influencia continental tampoco se observa claramente, pues aunque la mayor concentración se localiza en la estación situada en la boca del río Ebro (6M1), las diferencias con los valores de las otras estaciones no son significativas.

En la figura 4.6.9 se representa la distribución superficial de este nutriente, observando que, como ya se comentó para la clorinidad, el pequeño valor de la concentración superficial localizada en la estación 6M2 y la imposibilidad de introducir “límites físicos” provoca esta atípica distribución (a). Por esto, y como ya se hizo en el caso de la clorinidad, se representa también la distribución “a

mano alzada” (b) en la que se aprecia una ligera disminución de las concentraciones al alejarnos de la desembocadura. No llega a observarse tan claramente como en otros nutrientes, como posteriormente veremos, debido a la gran uniformidad en las concentraciones superficiales, pues exceptuando las de 6M1, 6M8 y 6M2, las restantes son del orden de $1.5 \mu\text{mol/L}$.

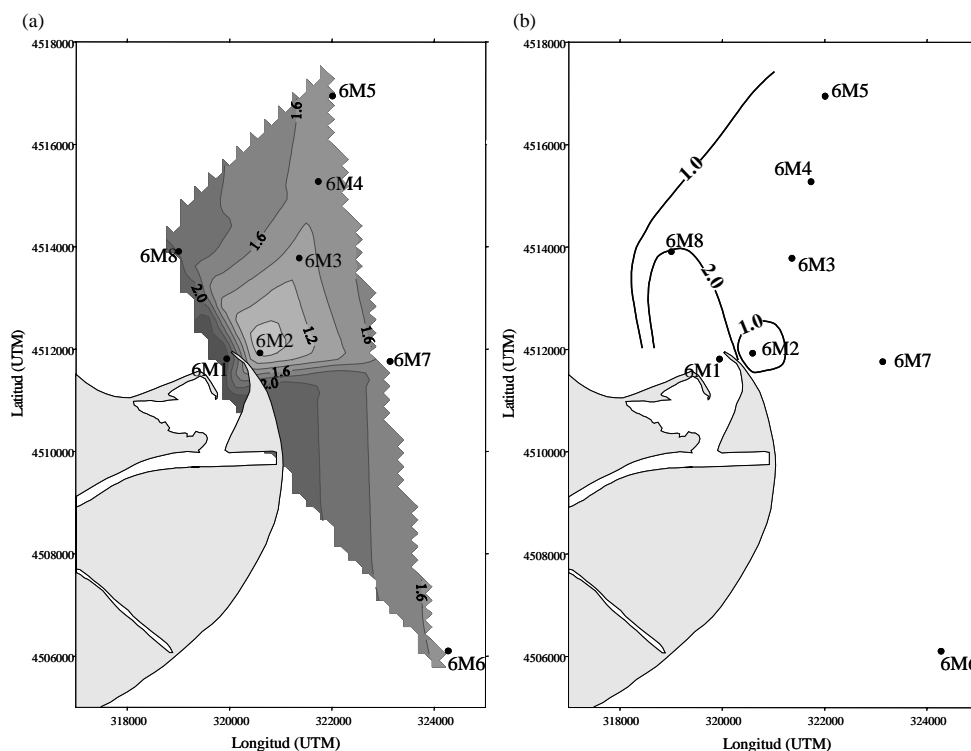


Figura 4.6.9. Distribución superficial de amonio ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 6.

En la figura 4.6.10 se muestra la distribución vertical en el transecto 6M1-6M5.

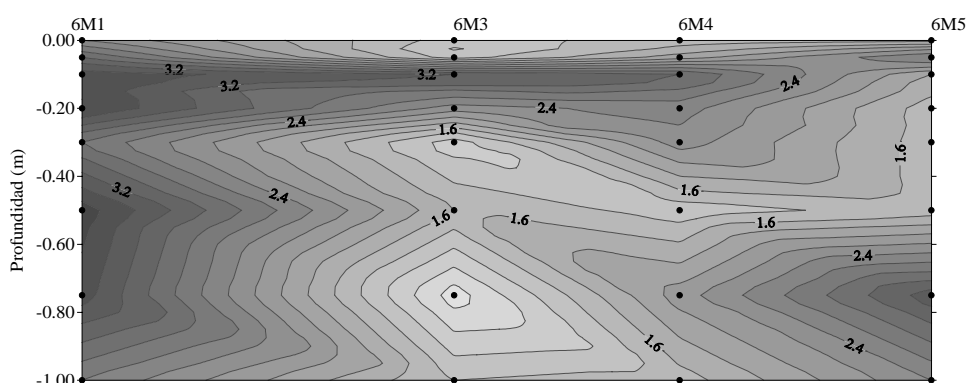


Figura 4.6.10. Distribución vertical de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 6M1-6M5.

No se aprecia la pauta de disminución de la concentración al aumentar la profundidad que se da en otros nutrientes, encontrando desviaciones de ésta en todas las estaciones y a cualquier profundidad. Esto se debe, como ya se ha comentado anteriormente, a las numerosas entradas y salidas de esta especie de

nitrógeno, a la gran actividad biológica y al pequeño rango de variación de sus concentraciones. Esto se aprecia más claramente en la figura 4.6.11, donde se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones.

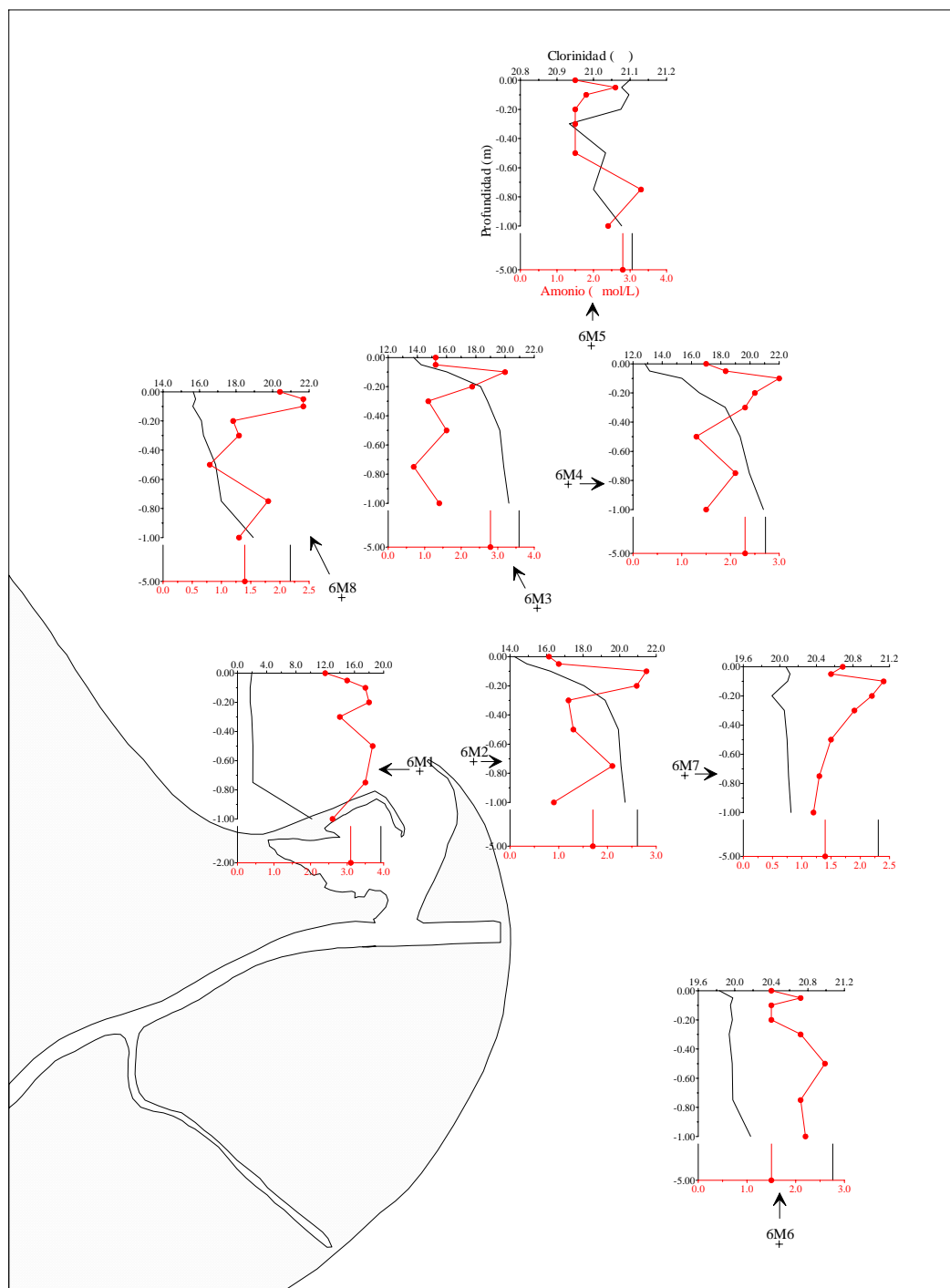


Figura 4.6.11. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 6.

- En primer lugar debe resaltarse que, al contrario de lo que ocurre con otros nutrientes y otros muestreos, los valores correspondientes a 5.0 m son en general

mayores que a 0.00 m, excepto en las estaciones 6M8 y 6M7 donde son menores y en 6M6 donde son iguales.

- En segundo lugar destaca el hecho de que en todas las estaciones las concentraciones encontradas a 0.00 m son menores que a las profundidades subsuperficiales (10 cm aproximadamente), probablemente debido a la alta absorción fitoplanctónica y bacteriana.

Parece por tanto, que en este caso la dinámica interna del sistema es más importante a la hora de determinar la concentración que el nivel de aportes continentales. Como sucedió en muestreos anteriores, se ha producido un crecimiento de la población fitoplanctónica. Este crecimiento, junto a la actividad de la comunidad heterótrofa y sus movimientos, ha conducido a un aumento de las excreciones / exudaciones de amonio a lo largo de toda la columna. En superficie la absorción preferencial del amonio sobre el nitrato ha conducido a que el crecimiento de la población de fitoplancton redujera la concentración de amonio. Sin embargo, en las zonas más profundas el agotamiento del PSR ha imposibilitado el que la población fitoplanctónica siguiera utilizando el amonio generado por la actividad de los heterótrofos por lo que se ha producido un aumento de su concentración.

Por todo lo anterior, y como ya ocurría en otros muestreos, es de esperar que su comportamiento en el proceso de mezcla entre las aguas dulces/salobres y las más salinas no tenga una clara pauta. Así se observa en la figura 4.6.12, donde en ninguna de las estaciones se aprecia una disminución de amonio al aumentar la clorinidad. Al igual que ocurría con el nitrito en los dos muestreos anteriores (y también en éste como posteriormente comentaremos), se observa que en todas las estaciones las muestras de agua quedan bastante alejadas de la línea de mezcla ideal de origen fluvial (línea negra), lo que nos lleva a modificar esta línea utilizando el promedio de las muestras más dulces de la estación situada en la boca del río (6M1). Así, aunque en la figura 4.6.12 se han representado ambas líneas, la discusión posterior se centrará en la obtenida a partir de las muestras dulces de 6M1 (línea azul), pues explicaría algo mejor lo que realmente está ocurriendo en la pluma estuarina.

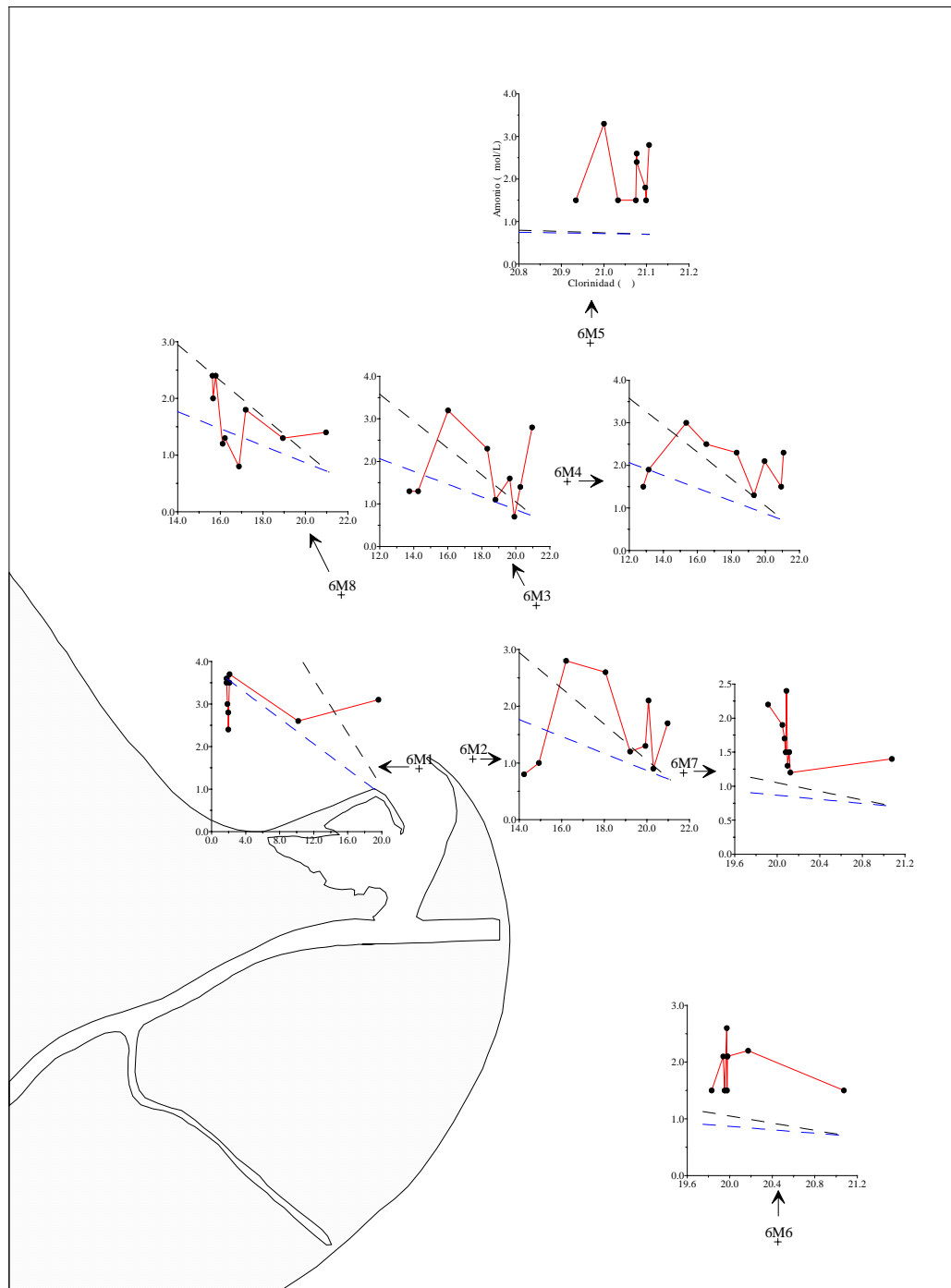


Figura 4.6.12. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

En general puede observarse ganancias en la mayoría de las estaciones, con algunas pérdidas en las capas de menor clorinidad de algunas de ellas (6M1, 6M4, 6M3 y 6M2) y en capas de clorinidad intermedia en 6M8. Las pérdidas encontradas parecen deberse en general a la predominancia de procesos como la absorción fitoplanctónica y bacteriana. En cambio las ganancias de las zonas de mayor clorinidad se deben, como ya se ha comentado anteriormente, a la actividad de los heterótrofos. Hay que tener también en cuenta que esta forma de nitrógeno

puede recibir entradas a partir del crecimiento de la comunidad planctónica derivado de los aportes de otras formas de nitrógeno (nitrato fundamentalmente).

En la figura 4.6.13 se muestra el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina, donde de igual modo se han incluido ambas líneas de mezcla ideal. Centrándonos en la obtenida a partir de las dos muestras más dulces de 6M1, se observa que hasta una clorinidad aproximada de 15‰ el comportamiento general es de pérdidas, achacadas a la alta absorción por las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas. En cambio a mayor clorinidad el comportamiento general es de ganancias debidas a la actividad heterotrófica, aunque se pueden localizar algunas muestras que poseen una concentración menor de lo esperado que provienen de la estación 6M8.

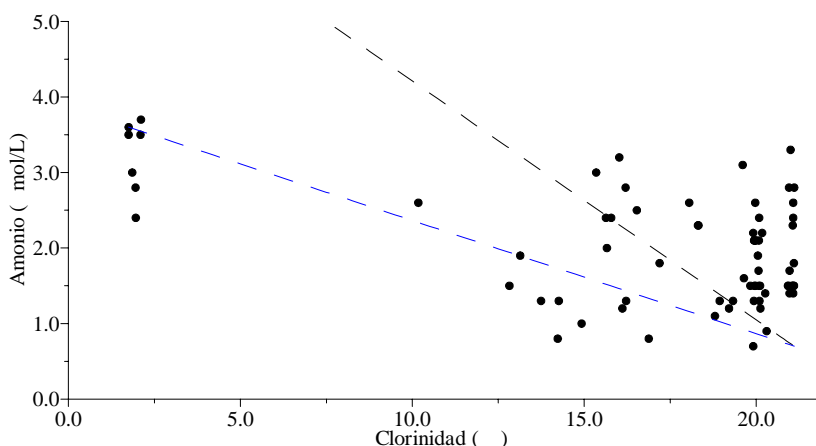


Figura 4.6.13. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.4.- Nitrato

La concentración de este nutriente posee un rango de variación similar a los dos muestreos anteriores, desde un máximo de 123.7 $\mu\text{mol/L}$ a 0.30 m en la estación 6M1 hasta un mínimo inferior a 0.1 $\mu\text{mol/L}$ en 6M3 y 6M7 a 5.0 m y en 6M5 en 0.00, 0.05, 0.20 y 0.50 m de profundidad. En la tabla 4.6.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron. Las mayores concentraciones se encuentran en la estación situada en la desembocadura del río (6M1), mientras que en la de menor influencia continental (6M5) se localizan las más bajas. En general puede decirse que en cada una de las estaciones las mayores concentraciones se encuentran a nivel superficial y las menores a las mayores profundidades, con algunas excepciones que luego detallaremos.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	123.7	-0.30	6.2	-2.0
6M4	50.1	0.00	0.2	-5.0
6M3	43.7	0.00	<0.1	-5.0
6M2	42.1	0.00	0.1	-5.0
6M8	29.7	-0.20	0.2	-5.0
6M6	6.3	-0.10	0.4	-5.0
6M7	3.8	-0.50	<0.1	-5.0
6M5	0.4	-0.10	<0.1	0.00, -0.05, -0.20, -0.50

Tabla 4.6.3. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrato en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

En la figura 4.6.14 se ha representado las distribuciones superficiales mediante el programa Surfer (a) y “a mano alzada” (b). En la figura (a) se observa, como ocurre con la clorinidad, que el bajo valor localizado en la estación 6M2 enmascara el esperado desplazamiento de la pluma estuarina hacia el noreste influenciado por la dirección del viento. Sin embargo en la figura (b) podemos apreciar claramente este desplazamiento y la progresiva disminución de las concentraciones al alejarnos de la desembocadura.

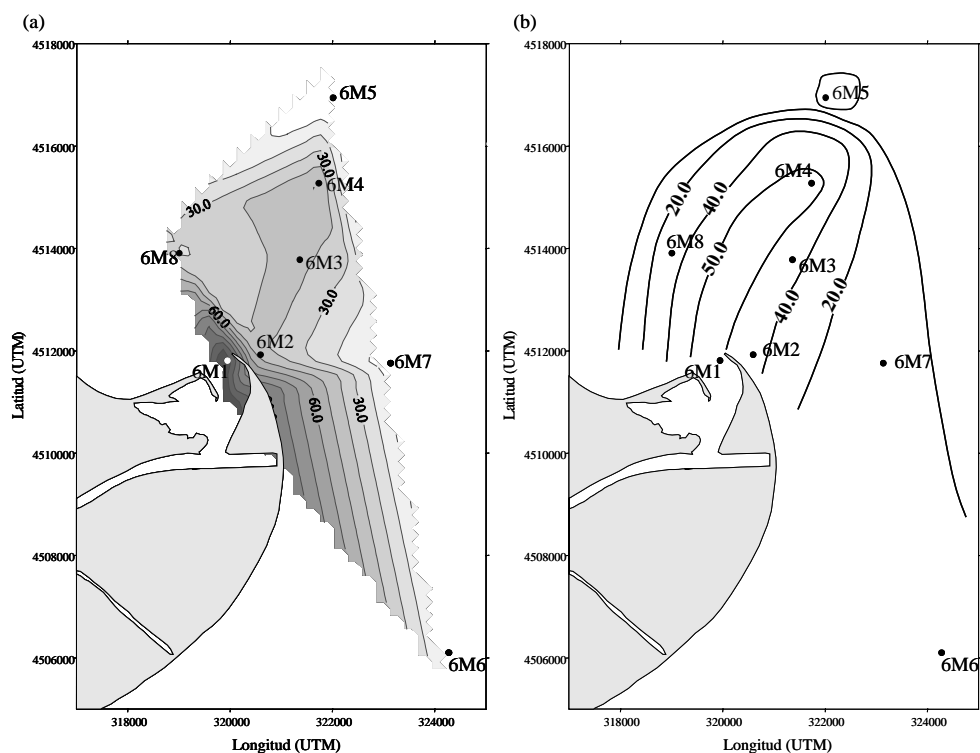


Figura 4.6.14. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 6.

En la figura 4.6.15 se observa la distribución vertical en el transecto 6M1-6M5, en la que vemos que las mayores concentraciones se localizan en la estación más cercana a la boca del río Ebro (6M1), disminuyendo éstas conforme nos alejamos de la desembocadura (hacia 6M5). En cada una de las estaciones (excepto en 6M1) la concentración de nitrato disminuye al aumentar las profundidad.

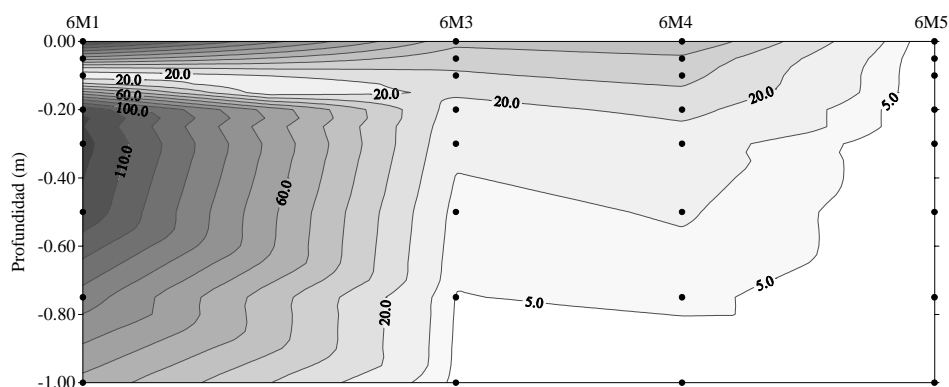


Figura 4.6.15. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 6M1-6M5.

La gran disminución encontrada en la estación 6M1 en la capa subsuperficial (0.00-0.20 m) puede apreciarse mejor en la figura 4.6.16, donde se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones. En lo que respecta a la distribución vertical en las distintas estaciones podemos diferenciar entre:

- 6M1, donde a pesar de la uniformidad relativa que se da en la capa de agua más dulce de los primeros 75 cm para los restantes parámetros, se aprecia una caída subsuperficial de la concentración hasta alcanzar un valor de $12 \mu\text{mol/L}$. Como ésta no va acompañada por una disminución equivalente del PSR o del ácido ortosilícico ni por un aumento de la clorofila *a* no podemos encontrar una explicación causal para este fenómeno a no ser que se hubiera generado micro zonas anóxicas que hubieran dado lugar a una activa desnitrificación (pero no existe ninguna referencia bibliográfica de un caso semejante).

- Las tres estaciones con mayor influencia continental, que muestran como consecuencia de ello el gradiente de clorinidad más marcado (6M4, 6M3 y 6M2), en las que la concentración de nitrato disminuye claramente al aumentar la profundidad.

- Las estaciones de menor influencia continental, 6M8, 6M6, 6M7 y 6M5, en las que no hay una pauta clara con una distribución relativamente uniforme.

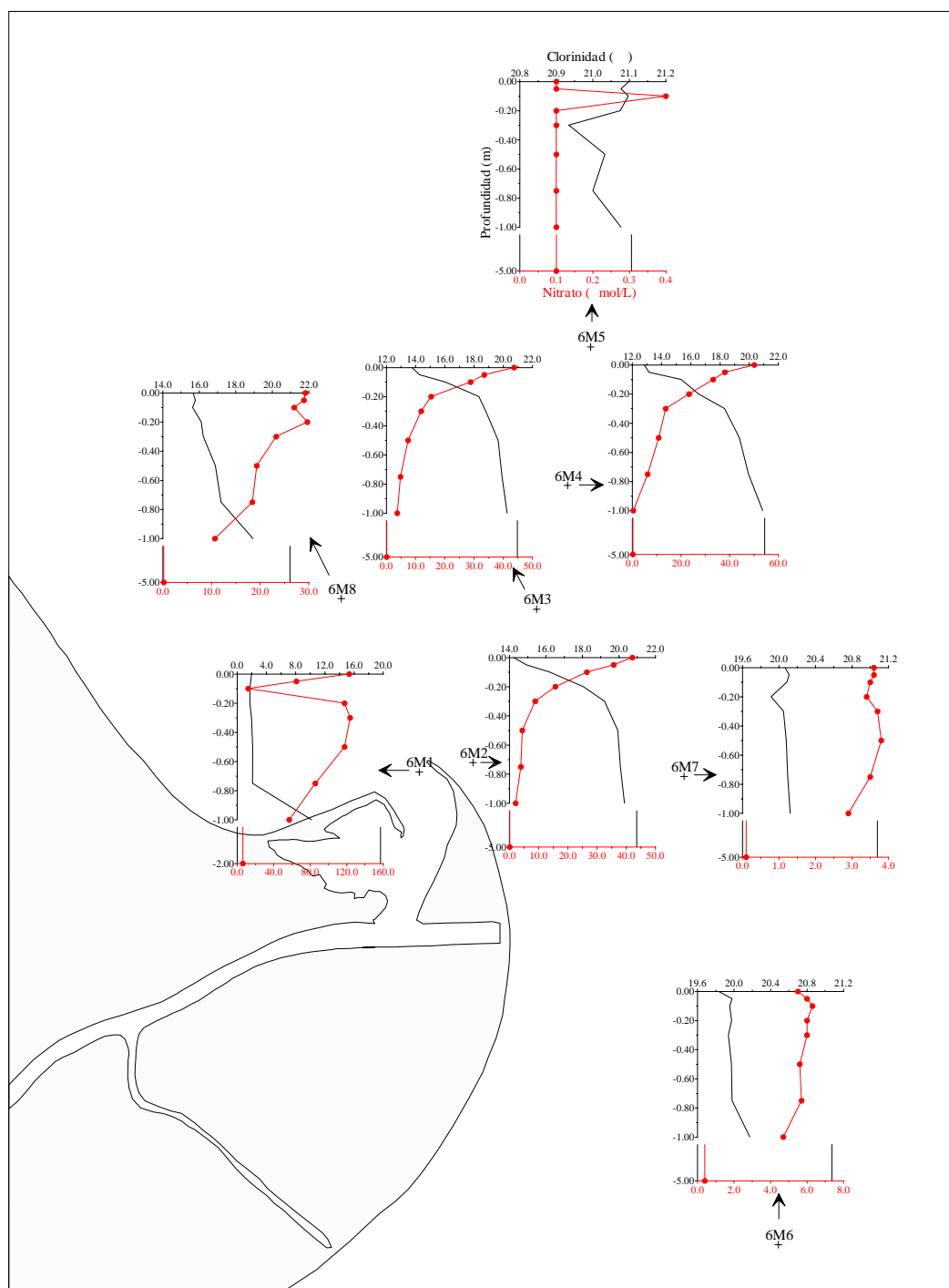


Figura 4.6.16. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 6.

En la figura 4.6.17 se muestra el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones. En todas ellas, y como era de esperar, la concentración disminuye al aumentar la clorinidad. En la mayoría de las estaciones el nitrato se comporta de manera aproximadamente conservativa con algunas ligeras pérdidas en las capas de menor clorinidad, destacando sobre todas ellas las que se producen en la estación 6M1. Todas estas pérdidas (excepto

las que se dan en 6M1) son achacables a la predominancia de la absorción fitoplanctónica sobre los restantes procesos que harían aumentar su concentración.

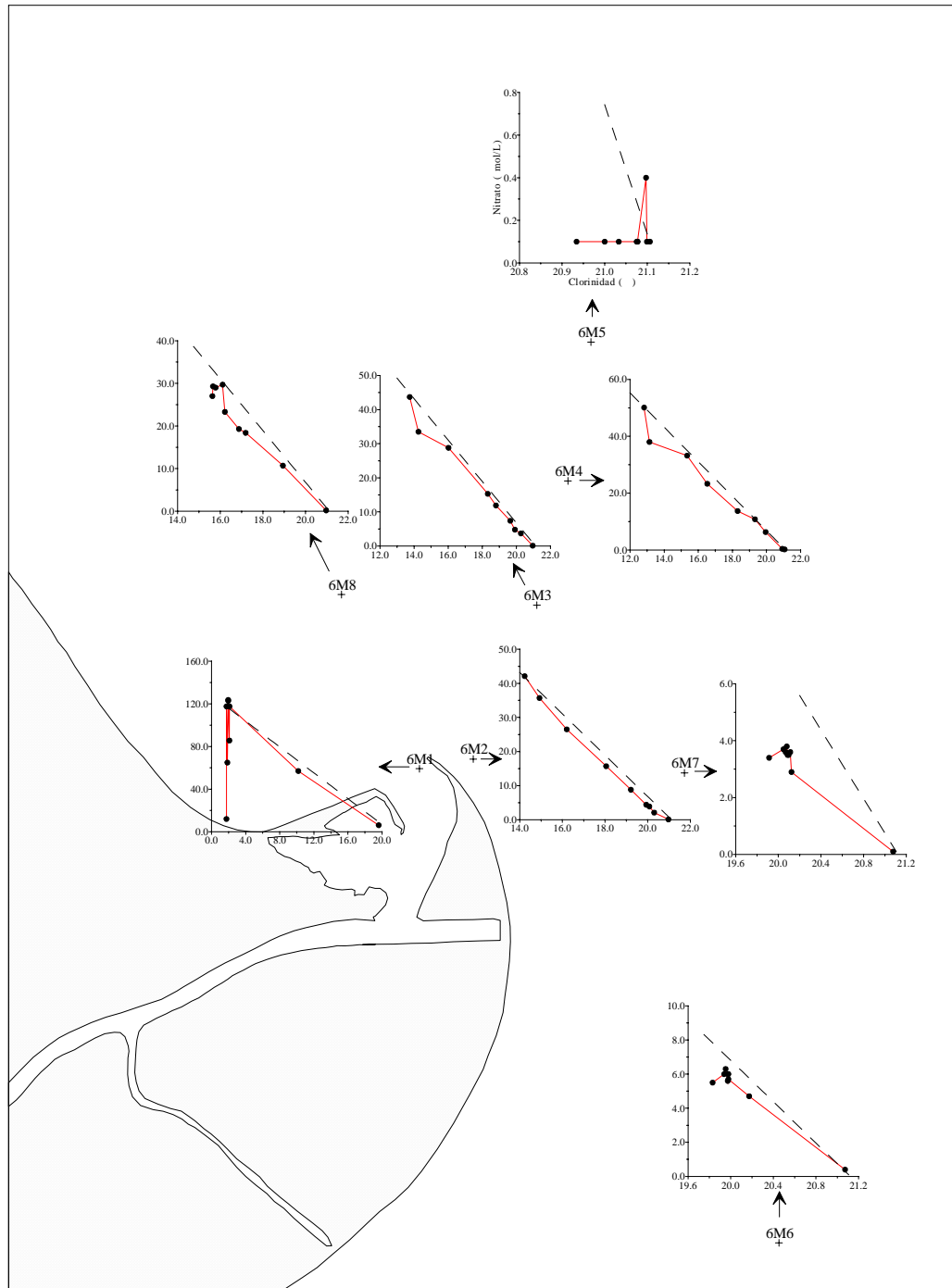


Figura 4.6.17. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

En la figura 4.6.18 se muestra el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina. En general el nitrato se comporta de manera aproximadamente conservativa, siendo a las menores clorinidades donde se producen algunas pérdidas provenientes de la estación 6M1.

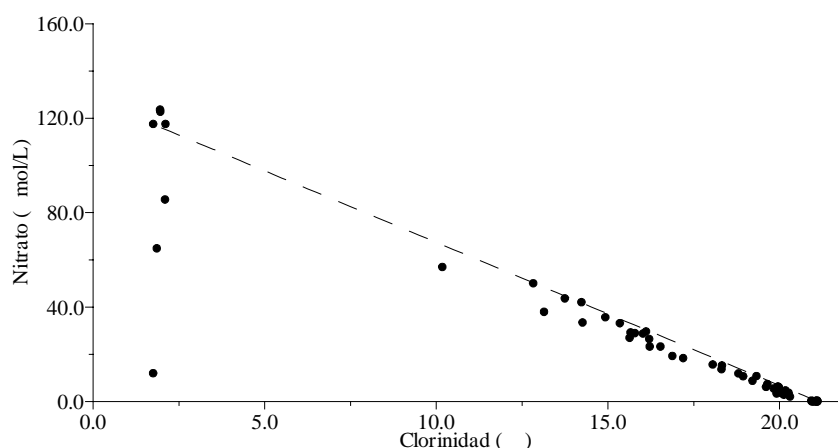


Figura 4.6.18. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.5.- Nitrito

El rango de variación en este muestreo es similar al del 9 de octubre, y algo mayor al del 8. El valor máximo es de $4.23 \mu\text{mol/L}$ en la estación 6M1 a 0.10 y 0.20 m de profundidad, mientras que el mínimo es inferior al límite de detección del método analítico ($0.01 \mu\text{mol/L}$) y se localiza en 6M8, 6M6 y 6M7 a 5.0 m de profundidad. En la tabla 4.6.4 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	4.23	-0.10, -0.20	0.31	-2.0
6M4	1.77	0.00	0.03	-1.00
6M3	1.63	0.00	0.09	-5.0
6M2	1.48	0.00	0.05	-5.0
6M8	1.08	-0.05	<0.01	-5.0
6M6	0.23	-0.30	<0.01	-5.0
6M7	0.18	-0.10	<0.01	-5.0
6M5	0.13	-0.75	0.01	-0.30

Tabla 4.6.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

Como era de esperar, por la influencia del río Ebro, las mayores concentraciones se localizan de nuevo en la estación más cercana a su desembocadura (6M1), disminuyendo conforme las aguas se vuelven más salinas, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento a las mayores profundidades.

La distribución superficial se muestra en la figura 4.6.19. Los bajos valores encontrados en 6M2, junto con la imposibilidad de introducir “límites físicos” en el programa de interpolación utilizado (Surfer), generan esta distribución algo atípica mostrada en la figura (a), donde no se aprecia claramente el esperado desplazamiento de la pluma estuarina en dirección norte-noreste. Sin embargo en la figura (b), donde se ha dibujado la distribución superficial “a mano alzada” se aprecia la esperada disminución de las concentraciones al alejarnos de la desembocadura y aumentar la clorinidad.

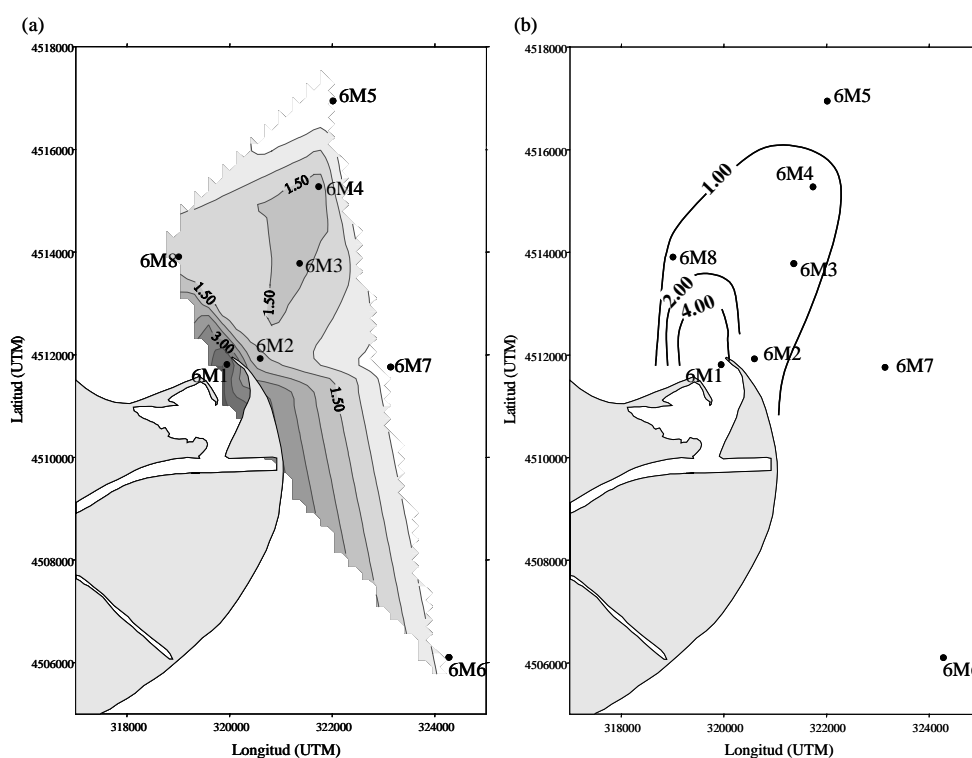


Figura 4.6.19. Distribución superficial de nitrito ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 6.

La distribución vertical para el transecto 6M1-6M5 se muestra en la figura 4.6.20, donde se observa que la concentración de nitrito va disminuyendo al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad.

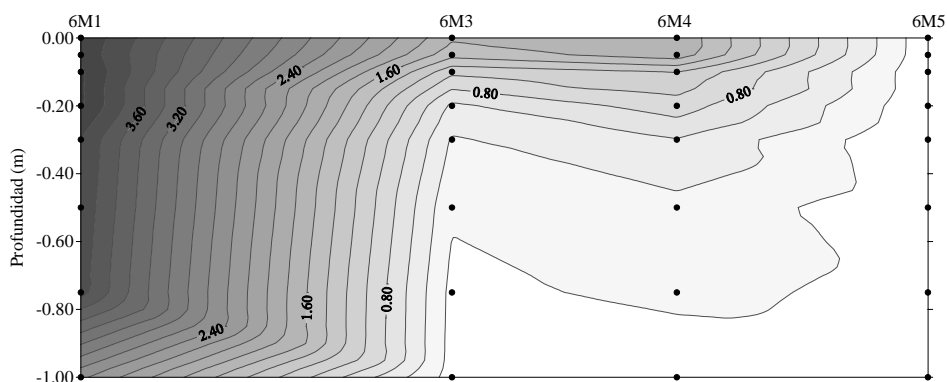


Figura 4.6.20. Distribución vertical de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 6M1-6M5.

Aunque en una primera aproximación parece que no existen desviaciones de la pauta general de disminución de la concentración al aumentar la profundidad, en la figura 4.6.21, donde se representan los perfiles encontrados en cada una de las estaciones, vemos que no es así.

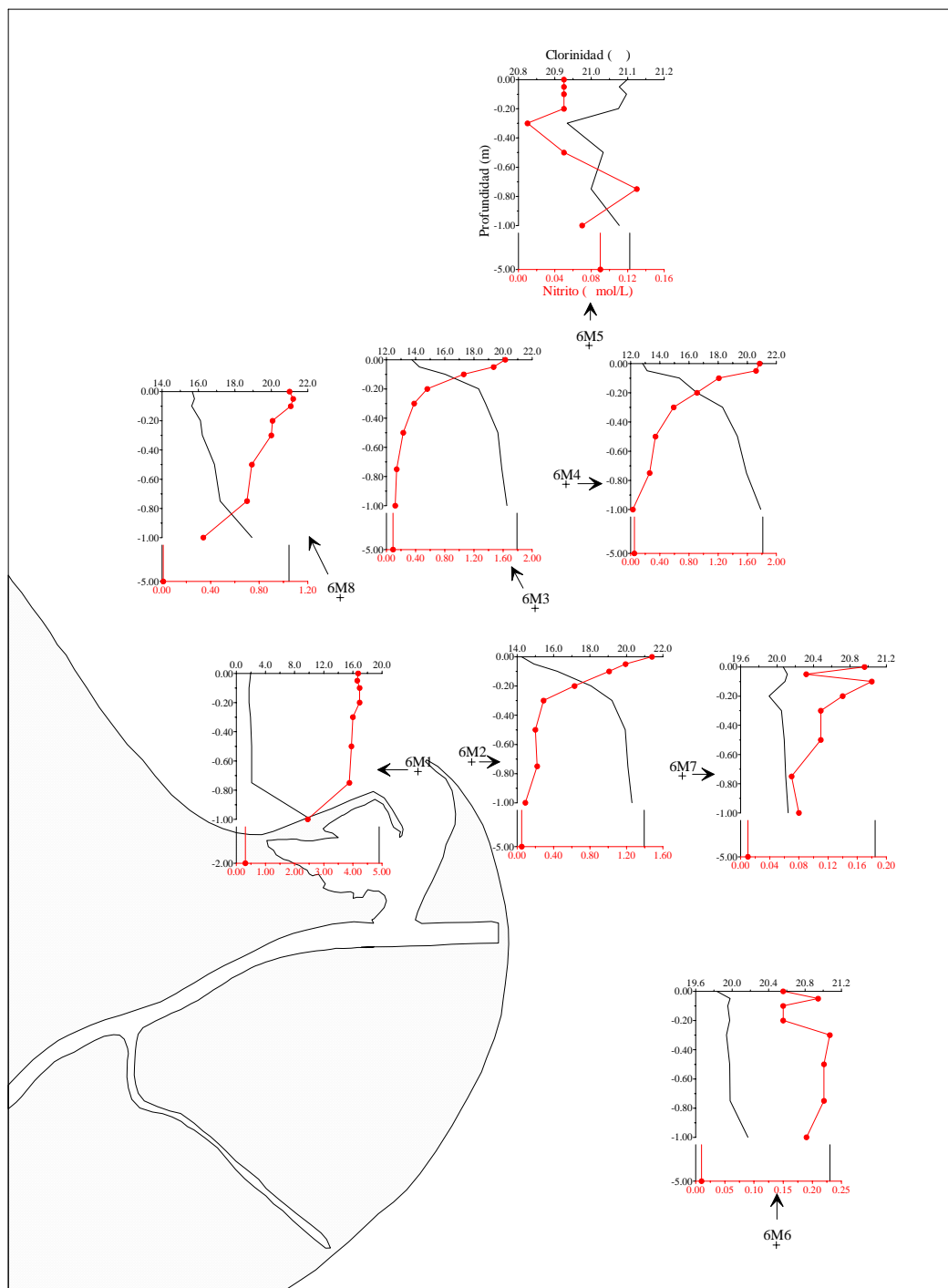


Figura 4.6.21. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 6.

Igual que ocurre con el nitrato, podemos diferenciar tres tipos de perfiles:

- En la estación de mayor influencia fluvial, 6M1, la constancia que se produce en la concentración de nitrito en los 75 cm superiores de la columna de agua se debe a la mínima variación que se produce en la clorinidad.

- En 6M4, 6M3, 6M2 y 6M8 no encontramos variaciones de importancia, disminuyendo las concentraciones conforme aumenta la profundidad.

- En las estaciones más salinas se producen diversas desviaciones de la pauta general. En 6M6 y 6M7 se producen en las capas más superficiales (en los 30 y 10 cm superiores respectivamente). En 6M5 llama la atención los valores casi constantes en los 20 cm superficiales y los aumentos que se producen a 0.75 y 5.0 m de profundidad. Todas estas variaciones son debidas sobre todo a los pequeños valores de las concentraciones encontradas, que provocan que cualquier mínimo cambio tenga grandes repercusiones en sus perfiles.

En la figura 4.6.22 se muestra el comportamiento del nitrito para cada una de las estaciones. Aquí, y como ya se hizo en los dos muestreos anteriores, se ha calculado un valor promedio de las muestras más dulces de la estación de mayor influencia fluvial (6M1), a partir del cual se ha calculado la línea de mezcla ideal (línea azul) que se usará para la discusión posterior. Como era de esperar, las concentraciones de nitrito disminuyen gradualmente al aumentar la clorinidad. Si tenemos en cuenta la línea de mezcla de origen fluvial, en todas las estaciones se producen ganancias, que se deben a unos mayores valores de las concentraciones de nitrito en el río en este día de muestreo con respecto a los días 5 y 6 de octubre, que a la predominancia de procesos de exudación autótrofa o nitrificación de amonio. Así, teniendo en consideración el promedio de las muestras más dulces de la estación 6M1 para calcular la línea de mezcla ideal (línea azul) observamos diferente comportamiento. En general, y como ocurría en anteriores muestreos, el nitrito se comporta de manera bastante conservativa en las estaciones de mayor influencia fluvial (6M1, 6M3 y 6M4), mientras que en el resto de estaciones (excepto 6M5) muestra pérdidas de diferente magnitud debidas probablemente a la predominancia de la absorción fitoplanctónica y la nitrificación del nitrito sobre la exudación y la nitrificación del amonio. Las ganancias que se producen en la estación de mayor clorinidad (6M5) podrían ser achacadas a algún tipo de exudación autótrofa y/o a la nitrificación del amonio, indicando en general que la

conjunción de una influencia continental muy reducida y una elevada actividad biológica permiten estas claras desviaciones de la mezcla.

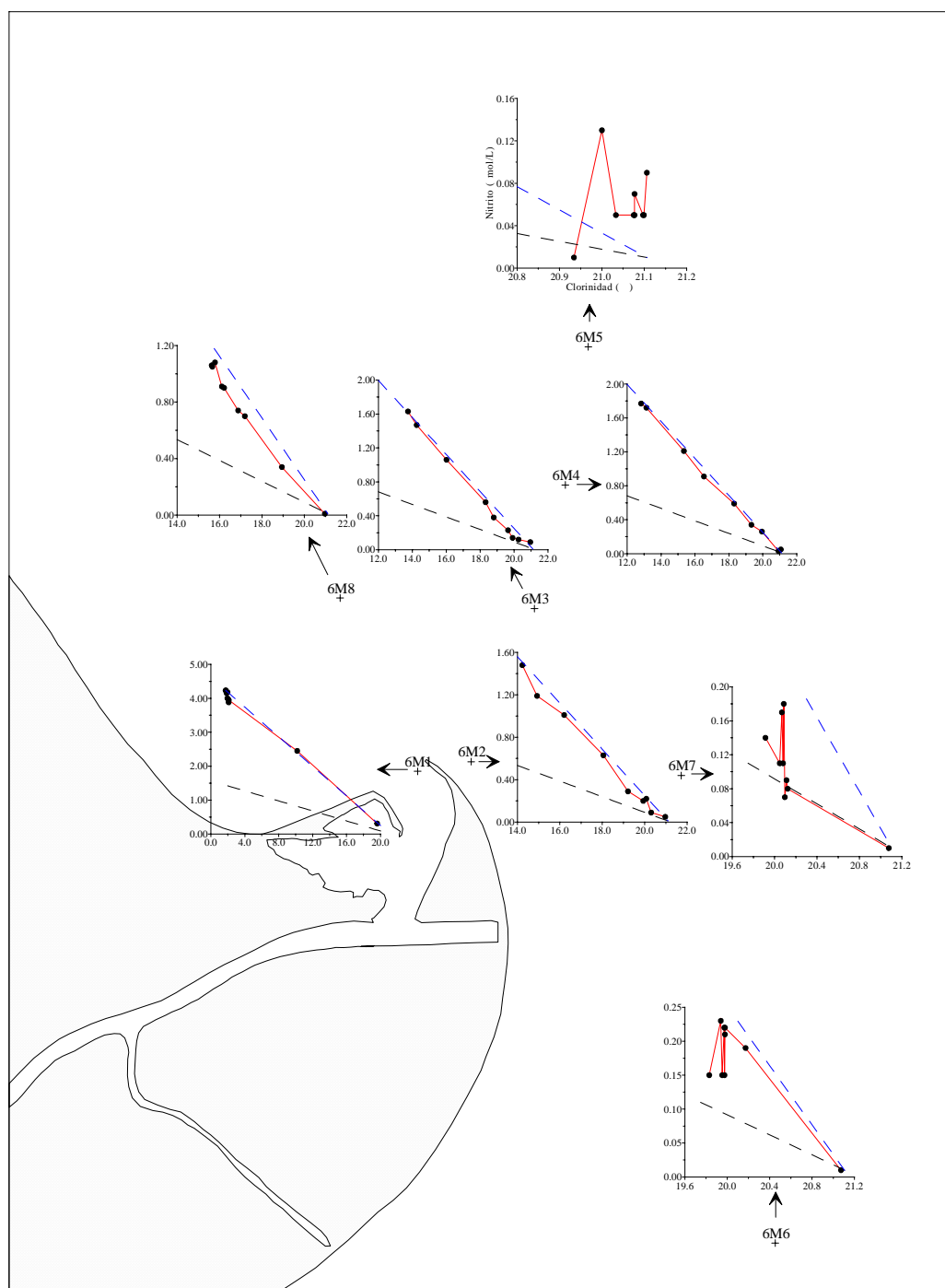


Figura 4.6.22. Comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

Esto mismo queda patente en la figura 4.6.23 donde se representa el comportamiento global en la pluma estuarina. Igual que ocurría en los dos muestreos anteriores, con respecto a la línea de origen fluvial (línea negra) el nitrito presenta claras ganancias, pero teniendo en cuenta la línea de mezcla

obtenida mediante el promedio de las muestras más dulces de 6M1 (línea azul) el nitrito se comporta de manera bastante conservativa, con muy ligeras pérdidas en la zona de mayor clorinidad, que serían achacables a la alta absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación.

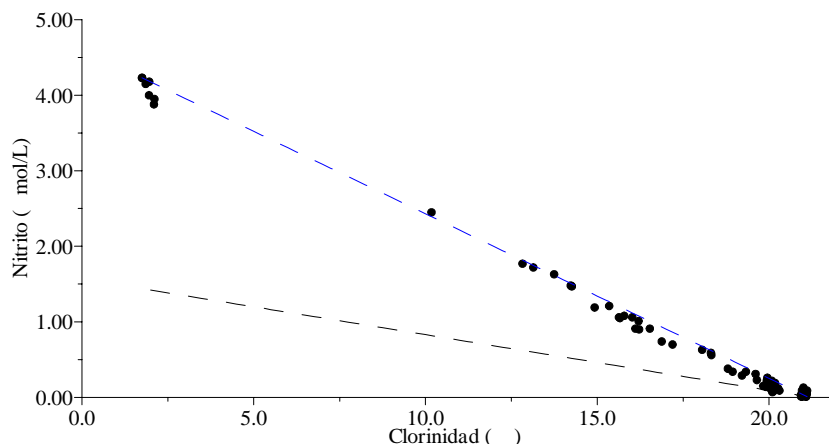


Figura 4.6.23. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.6.- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

Como ocurre en los muestreos anteriores, y debido a las mayores concentraciones de nitrato respecto al amonio y al nitrito, el NID tiene un rango de variación similar al primero. La concentración máxima es de 130.5 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 6M1 a 0.30 m de profundidad, mientras que el mínimo es de 1.4 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en 6M7 a 5.0 m. En la tabla 4.6.5 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	130.5	-0.30	9.6	-2.0
6M4	53.4	0.00	1.9	-1.00
6M3	46.6	0.00	2.9	-5.0
6M2	44.4	0.00	1.8	-5.0
6M8	32.5	-0.05	1.6	-5.0
6M6	8.4	-0.50	1.9	-5.0
6M7	6.1	-0.10	1.4	-5.0
6M5	3.5	-0.75	1.5	0.00, -0.20, -0.50

Tabla 4.6.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

Las concentraciones de NID son mayores en la estación de mayor influencia fluvial (6M1) y menores en el resto. Además en cada una de las estaciones éstas van disminuyendo al aumentar la profundidad y la clorinidad, localizando los valores mínimos a las mayores profundidades. Esto mismo se observa en la figura 4.6.24, donde se representa los perfiles en cada una de las estaciones y en la figura 4.6.25 donde se muestra su comportamiento.

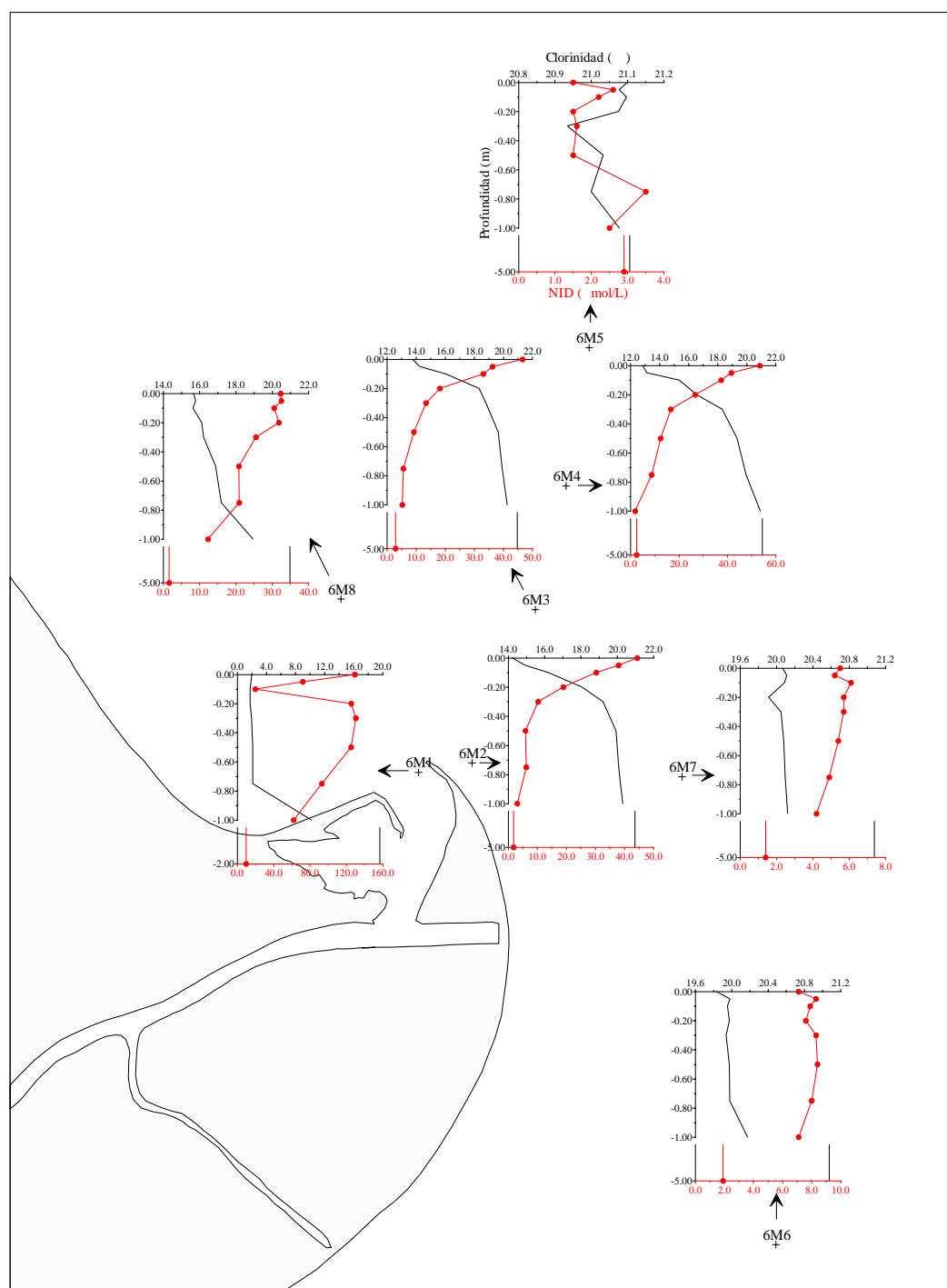


Figura 4.6.24. Perfiles verticales de NID. Muestreo 6.

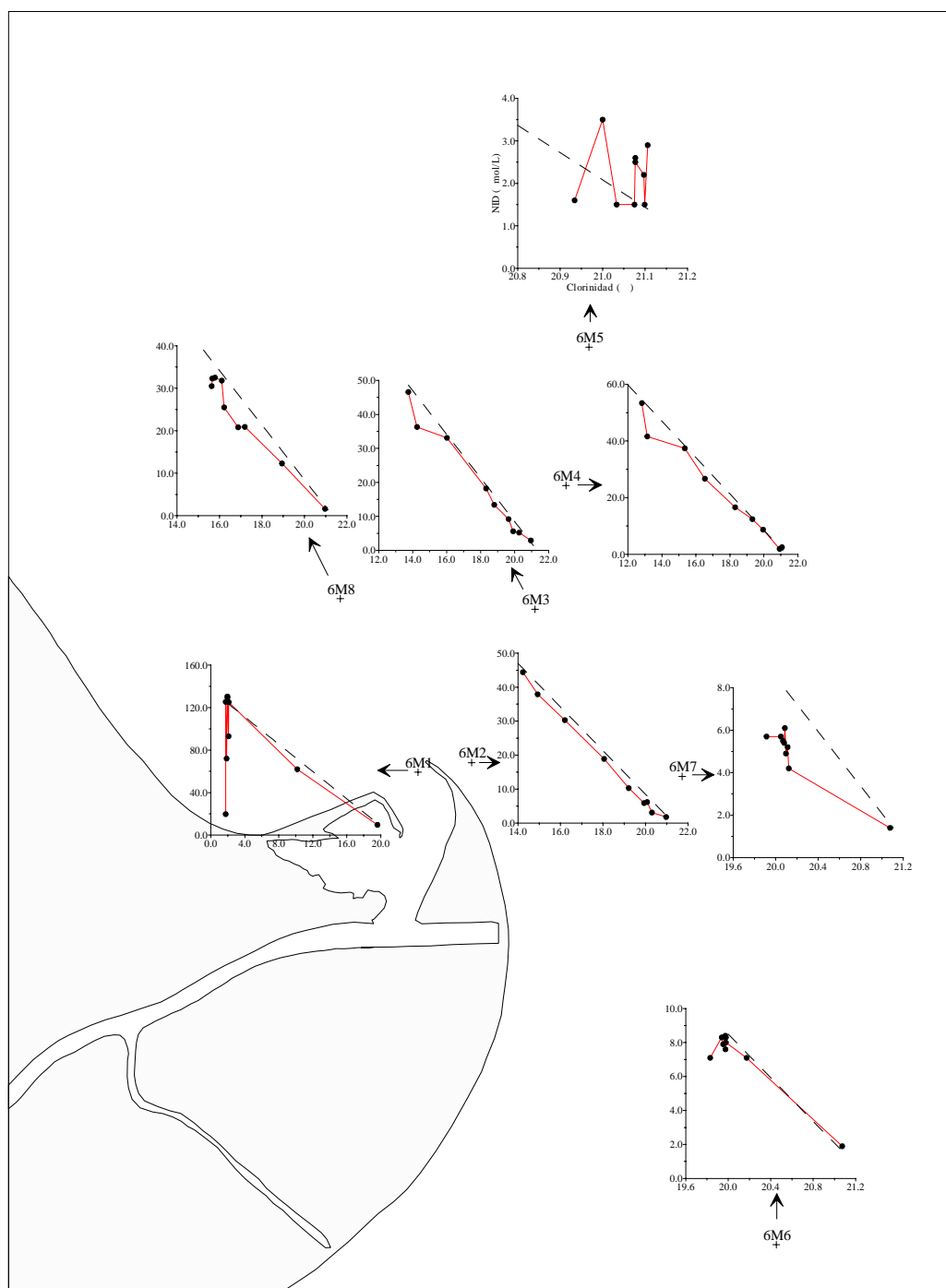


Figura 4.6.25. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

Los perfiles mostrados en la figura 4.6.24 son muy similares a los del nitrato (figura 4.6.16), por lo que todo lo comentado para éste (apartado 4.6.4) es válido también para el NID. Solamente se encuentran diferencias en las estaciones de menor influencia continental (6M7, 6M6 y 6M5) debido a los menores valores de nitrato. En 6M7 y 6M8 se encuentran desviaciones de la pauta general de disminución en las capas subsuperficiales (20-30 cm superiores), que pueden ser achacadas al movimiento y absorción de las comunidades fitoplanctónicas. Los

valores de nitrato cercanos al agotamiento encontrados en la estación 6M5 provocan que dicho perfil sea en este caso idéntico al del amonio, con lo que las numerosas entradas y salidas de esta especie de nitrógeno, la gran actividad biológica y el pequeño rango de variación de sus concentraciones generan este perfil de difícil explicación.

En todas las estaciones, excepto en la 6M5, la concentración de NID disminuye con la clorinidad, como se observa en la figura 4.6.25. Al igual que ocurría con el nitrato, en la mayoría de las estaciones el NID se comporta de manera aproximadamente conservativa con algunas ligeras pérdidas en las capas de menor clorinidad, destacando las de la estación 6M1. El comportamiento observado en la estación 6M5 es idéntico al encontrado para el amonio, con lo que los aumentos encontrados en su concentración se deben probablemente a la amonificación de nitrógeno orgánico, a la excreción heterótrofa y/o a la exudación autótrofa.

En la figura 4.6.26 se representa el comportamiento global del NID en la pluma estuarina, donde se observa un comportamiento bastante conservativo en todo el rango de clorinidad. Solamente a menor clorinidad puede apreciarse algunas pérdidas provenientes de las muestras más dulces de la estación 6M1.

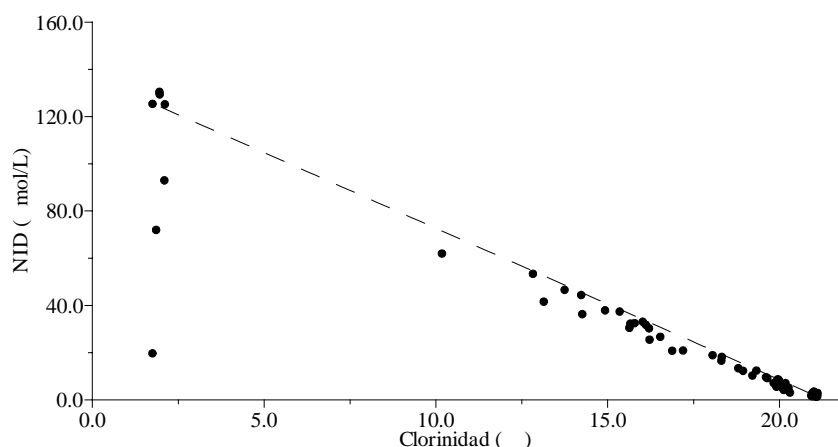


Figura 4.6.26. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

En la tabla 4.6.6 se muestra los datos de fósforo que han sido desechados al no cumplirse que la concentración de PSR sea menor o igual que la de PDT y ésta menor o igual que la de PT.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)
6M1-0.00	2.16	2.59	<u>2.14</u>
6M1-0.50	2.19	2.27	<u>1.78</u>
6M1-0.75	2.45	2.59	<u>1.95</u>
6M4-0.05	0.55	<u>1.07</u>	<u>0.67</u>
6M5-0.00	0.04	0.07	<u>0.03</u>
6M6-0.00	0.11	<u>0.07</u>	0.17
6M7-5.0	<0.03	<u>0.13</u>	<0.03

Tabla 4.6.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 6.

La concentración de este nutriente posee un rango de variación similar a los dos muestreos anteriores, varía desde un máximo de 2.45 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 6M1 a 0.75 m, hasta unos mínimos inferiores a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en 6M4, 6M3, 6M8, 6M6, 6M7 y 6M5 a diversas profundidades. En la tabla 4.6.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones, y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	2.45	-0.75	0.10	-2.0
6M4	0.55	0.00, -0.05	<0.03	-5.0
6M3	0.36	-0.05	<0.03	-0.50, -5.0
6M2	0.35	0.00	0.04	-0.20, -0.30
6M8	0.32	-0.30	<0.03	-5.0
6M6	0.11	0.00	<0.03	-0.10, -0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -5.0
6M7	0.09	0.00	<0.03	-0.05, -0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0
6M5	0.04	0.00, -0.05	<0.03	-0.10, -0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0

Tabla 4.6.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

La influencia de las descargas de origen fluvial queda patente en los resultados obtenidos para el PSR en este muestreo, obteniéndose las mayores concentraciones en la estación situada en la boca del río, disminuyendo éstas conforme lo hace la influencia continental, y llegando a valores cercanos al agota-

miento en la mayoría de estaciones. Como se comprueba en esta tabla 4.6.7, en cada una de las estaciones los máximos suelen localizarse en superficie (excepto en un par de estaciones, 6M1 y 6M8) y los mínimos a las mayores profundidades (excepto en 6M2).

Como ya ocurría con la clorinidad y con las diversas formas de nitrógeno estudiadas, la distribución horizontal de PSR representada en la figura 4.6.27 (a) no es una buena aproximación a lo que realmente parece estar ocurriendo en la pluma estuarina por las mismas razones anteriormente apuntadas. Por ello se representa en la figura (b) la distribución “a mano alzada” en la que se aprecia claramente la disminución de las concentraciones al alejarnos de la boca del río y aumentar la clorinidad.

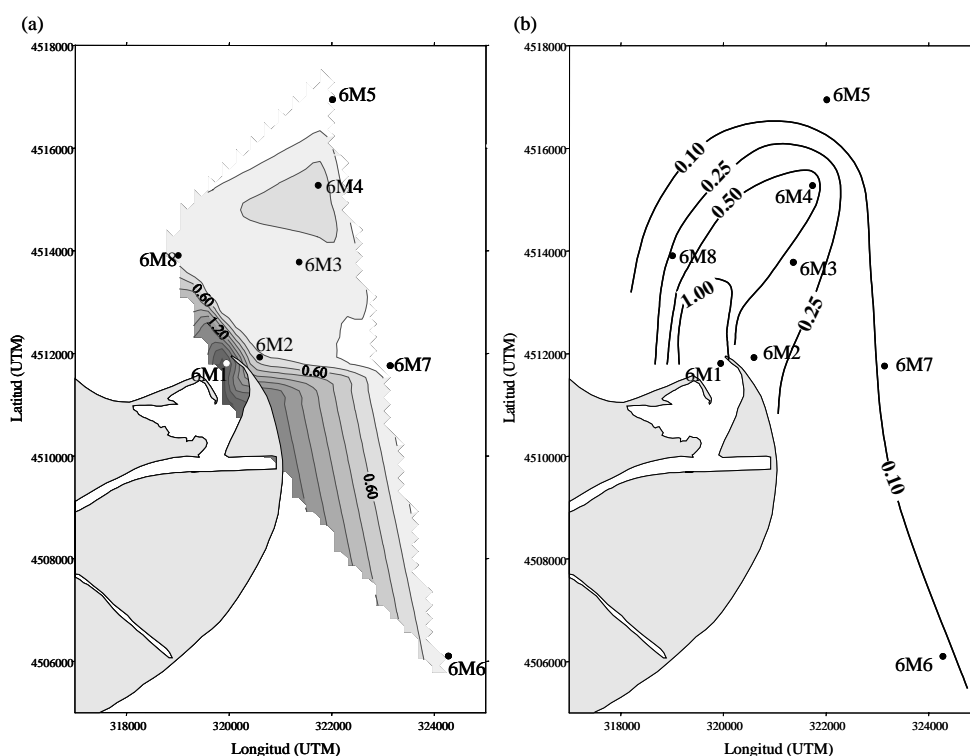


Figura 4.6.27. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 6.

En la figura 4.6.28 se representa un corte vertical del transecto 6M1-6M5, donde puede observarse más claramente la esperada disminución de la concentración al alejarnos de la desembocadura (hacia la estación 6M5) y al aumentar la profundidad. Es de resaltar que debido a la mayor clorinidad encontrada en 6M4 que en 6M3 como ya se comentó en el apartado 4.6.2, en la primera existe una mayor concentración de PSR en superficie. Esto deja de nuevo patente que la mayor cercanía a la boca del río no implica necesariamente una

mayor influencia fluvial, tomando gran importancia tanto las condiciones hidrodinámicas como la “historia” de la pluma estuarina.

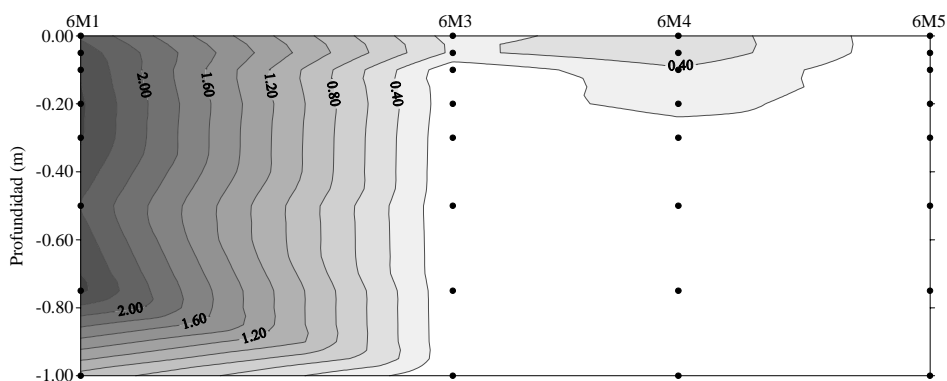


Figura 4.6.28. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el del transecto 6M1-6M5.

En la figura 4.6.29 se ha representado los perfiles obtenidos en cada una de las estaciones. En todas ellas (excepto en 6M1 y 6M8) las concentraciones van disminuyendo progresivamente al aumentar la profundidad llegando a valores cercanos al agotamiento a una profundidad relativamente baja, incluso a 10 cm de profundidad en alguna de éstas (6M6, 6M7 y 6M5). Pero estas disminuciones no son graduales en todas las estaciones, encontrando desviaciones de esta pauta general en algunas de ellas:

- Las más destacables son las que se producen en la estación 6M8, pues aunque en algunas otras también las hay éstas no son de gran importancia (6M1, 6M3, 6M2 y 6M7). En 6M8 la alta actividad biológica parece provocar una gran disminución de la concentración en los primeros 30 cm, como más adelante comentaremos.

- En 6M1 la constancia en la clorinidad en los primeros 75 cm de la columna de agua tiene repercusión en el PSR, como ya ocurría también en el nitrito (apartado 4.6.5), manteniendo una concentración aproximadamente constante en torno a $2.30 \mu\text{mol/L}$.

En general puede decirse que la gran asimilación del PSR por parte de las comunidades planctónicas da lugar a que las concentraciones de este nutriente disminuyan dramáticamente en la pluma estuarina, pues de valores en torno a $2.30 \mu\text{mol/L}$ que se encuentran en 6M1 se llega a valores de $0.40\text{-}0.60 \mu\text{mol/L}$ en estaciones relativamente cercanas a ésta (6M4 y 6M3).

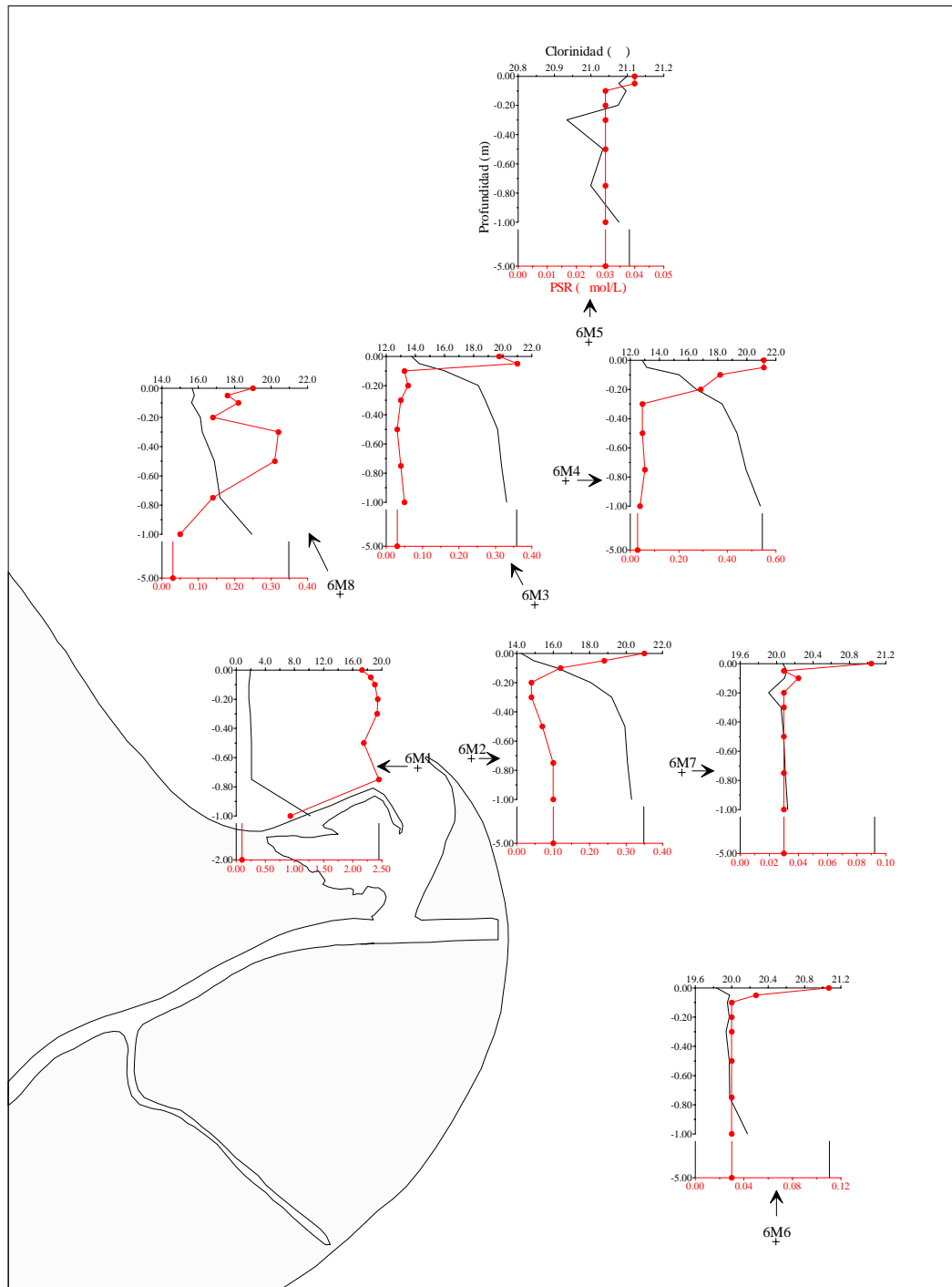


Figura 4.6.29. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 6.

El comportamiento del PSR en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones se representa en la figura 4.6.30, donde se observa que en todas ellas se producen pérdidas generalizadas en toda la columna de agua que cabe achacar a un elevado consumo planctónico llegando a consumir casi completamente el PSR en algunas de las estaciones (6M6, 6M7 y 6M5). Solamente en 6M2 se ha de resaltar pequeños aumentos de concentración en la capa de mayor clorinidad

probablemente debido a la excreción de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas.

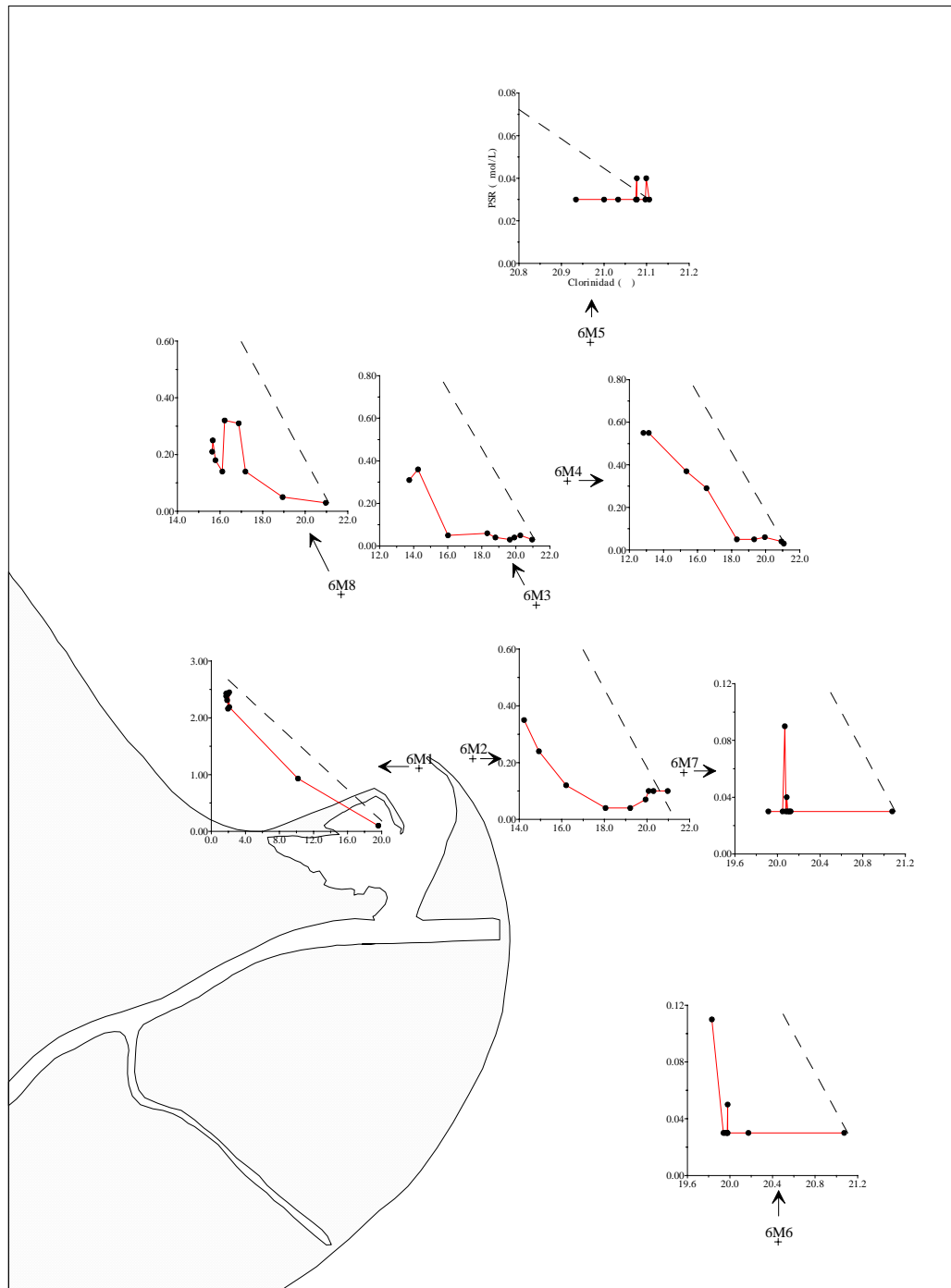


Figura 4.6.30. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

En la figura 4.6.31 se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla englobando las 8 estaciones de la pluma estuarina. Al igual que ocurría en otros muestreos anteriores, se observa una pérdida generalizada en toda la pluma estuarina debido a que el consumo y asimilación del fósforo por parte de

los diversos organismos planctónicos predomina sobre otro tipo de procesos que aumentan su concentración.

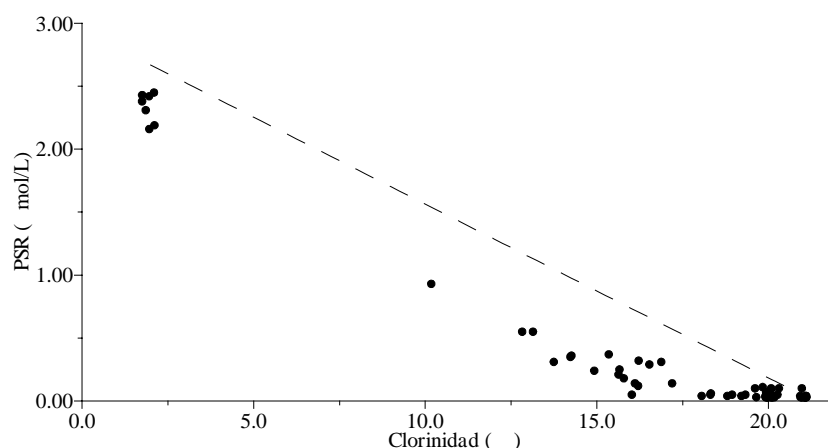


Figura 4.6.31. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

La concentración de fósforo disuelto total (PDT) varía desde un máximo de 2.63 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 6M1 a 0.10 m de profundidad hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en 6M6 a 5.0 m y 6M5 a diversas profundidades. En la tabla 4.6.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	2.63	-0.10	0.09	-2.0
6M4	0.96	0.00	0.05	-1.00, -5.0
6M3	0.86	0.00	0.06	-0.75
6M2	0.64	0.00	0.07	-1.00, -5.0
6M8	0.55	-0.30	0.06	-1.00
6M6	0.10	-0.30	<0.03	-5.0
6M7	0.11	0.00, -0.50	0.03	-0.30
6M5	0.07	0.00	<0.03	-0.10, -0.75, -1.00, -5.0

Tabla 4.6.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

Es nuevamente en la estación situada en la desembocadura del río Ebro (6M1) donde se localiza las mayores concentraciones, mientras que las menores se encuentran en las de menor influencia continental (6M6, 6M7 y 6M5).

La distribución horizontal a 0.00 m de profundidad se representa en la figura 4.6.32.

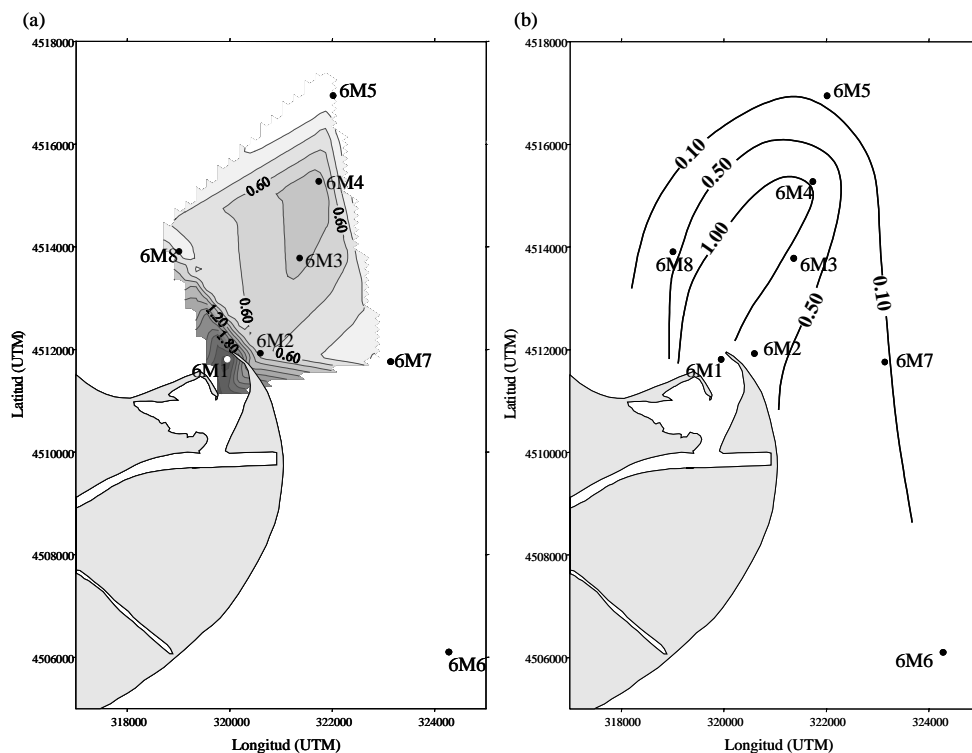


Figura 4.6.32. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 6.

La inexistencia de la muestra superficial de la estación 6M6 (ver tabla 4.6.6) y el problema ya comentado anteriormente para los restantes nutrientes respecto a los “límites físicos” provocan esta distribución horizontal representada en la figura (a). En la figura (b) realizada “a mano alzada” se observa el esperado desplazamiento de la pluma estuarina hacia las estaciones 6M4 y 6M5, desplazamiento que puede observarse con mayor detalle en la figura 4.6.33. En ésta se muestra el corte vertical del transecto 6M1-6M5, observando una disminución de las concentraciones al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad.

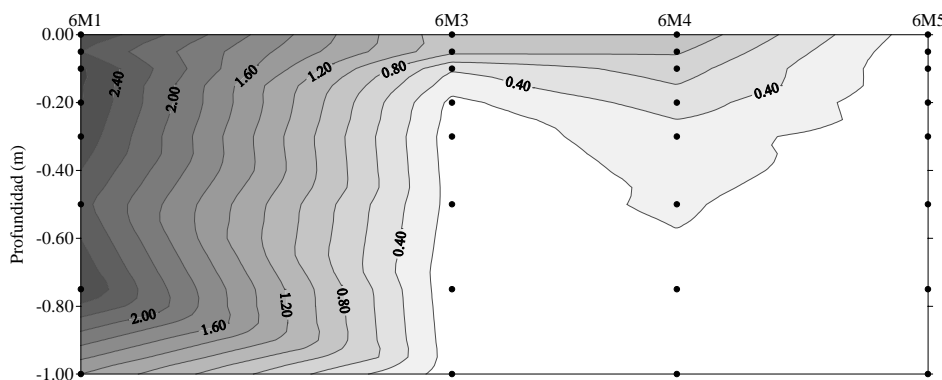


Figura 4.6.33. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 6M1-6M5.

En esta figura 4.6.33 se aprecia, al igual que ocurría para el PSR, unas mayores concentraciones en 6M4 que en 6M3, por las mismas razones anteriormente apuntadas.

Los perfiles de PDT obtenidos para cada una de las estaciones se muestran en la figura 4.6.34.

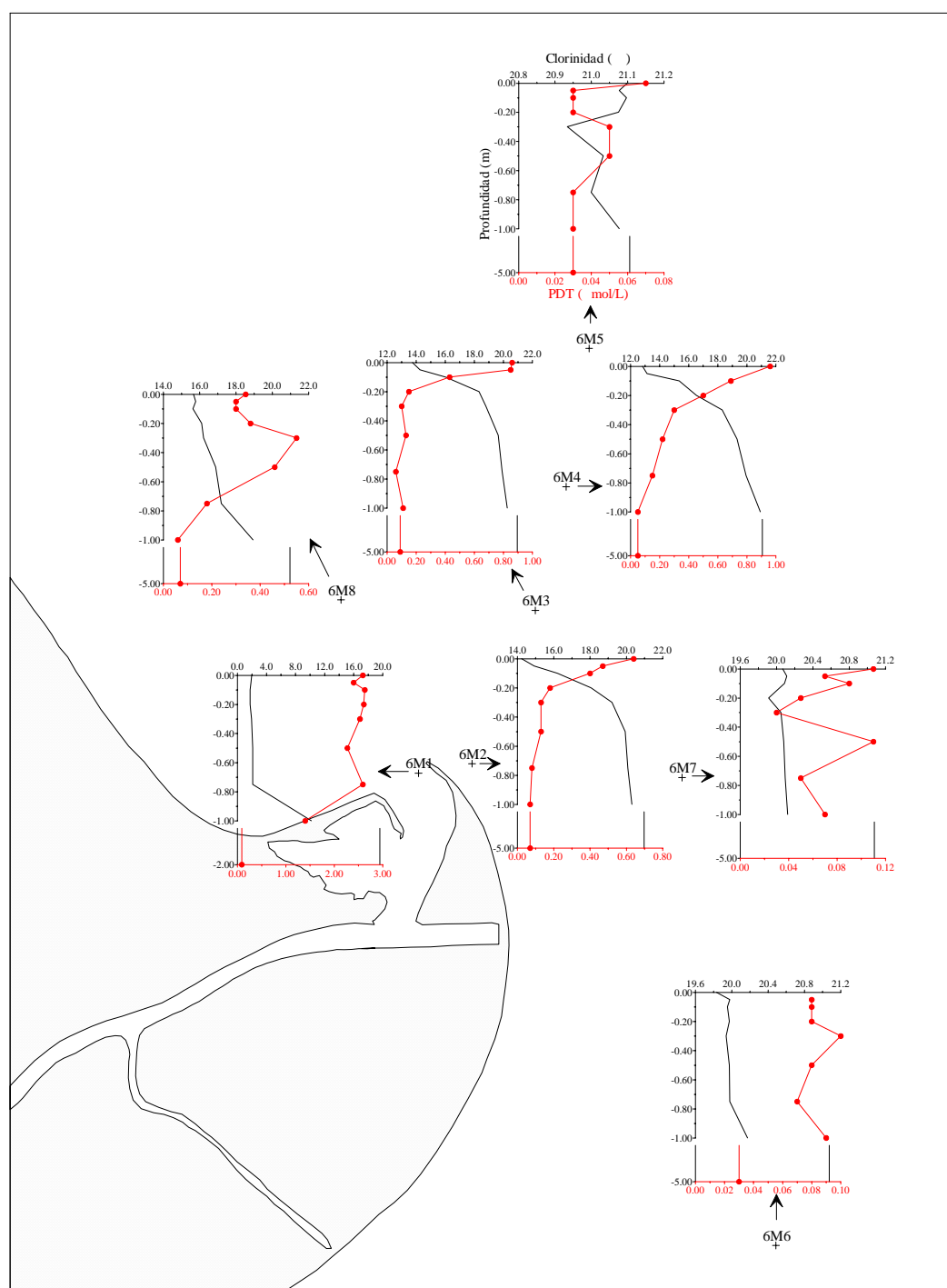


Figura 4.6.34. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 6.

Se observa que como en el caso del PSR las concentraciones de PDT disminuyen gradualmente al aumentar la profundidad en todas las estaciones. En esta figura 4.6.34 encontramos diferencias entre estaciones:

- En las de mayor influencia continental (6M1, 6M4, 6M3, 6M2 y 6M8) sólo encontramos desviaciones importantes de la pauta general de disminución en la 6M8 en los 30 cm superiores, y una cierta constancia en los 75 cm superiores de 6M1 (como ya ocurría para el PSR).

- En cambio en las estaciones de menor influencia fluvial (6M6, 6M7 y 6M5) se observan diversas desviaciones a lo largo de toda la columna de agua, pero que son de menor importancia por las bajas concentraciones encontradas.

La mayoría de estos perfiles representados en la figura 4.6.34 coinciden con los de PSR (figura 4.6.29), con lo que puede decirse que estas desviaciones de la pauta general de disminución del PDT al aumentar la profundidad son debidas más a variaciones en las concentraciones de PSR que a las de POD. De todas maneras en aquellas estaciones en las que el PSR estaba cercano al agotamiento (6M6, 6M7 y 6M5) no podemos asegurar lo anterior de manera categórica ya que el PSR estaba en límites indetectables con el método analítico utilizado.

El comportamiento del PDT en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones se ha representado en la figura 4.6.35. En ésta se observa que las concentraciones de PDT, igual que ocurría con las de PSR, disminuyen gradualmente al aumentar la clorinidad, aunque con algunas particularidades. En la estación 6M7 parece invertirse esta tendencia, aunque nos movemos en un rango estrecho tanto de clorinidad como de PDT. De todas maneras el comportamiento general del PDT es idéntico al de PSR, mostrando pérdidas en todas las estaciones achacables a una predominancia de la absorción planctónica sobre otros procesos que aumentarían su concentración. Sin embargo en la capa más salina de la estación 6M5 y en algunos puntos de 6M7 se producen ligeros aumentos de concentración que podrían deberse a excreciones de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas.

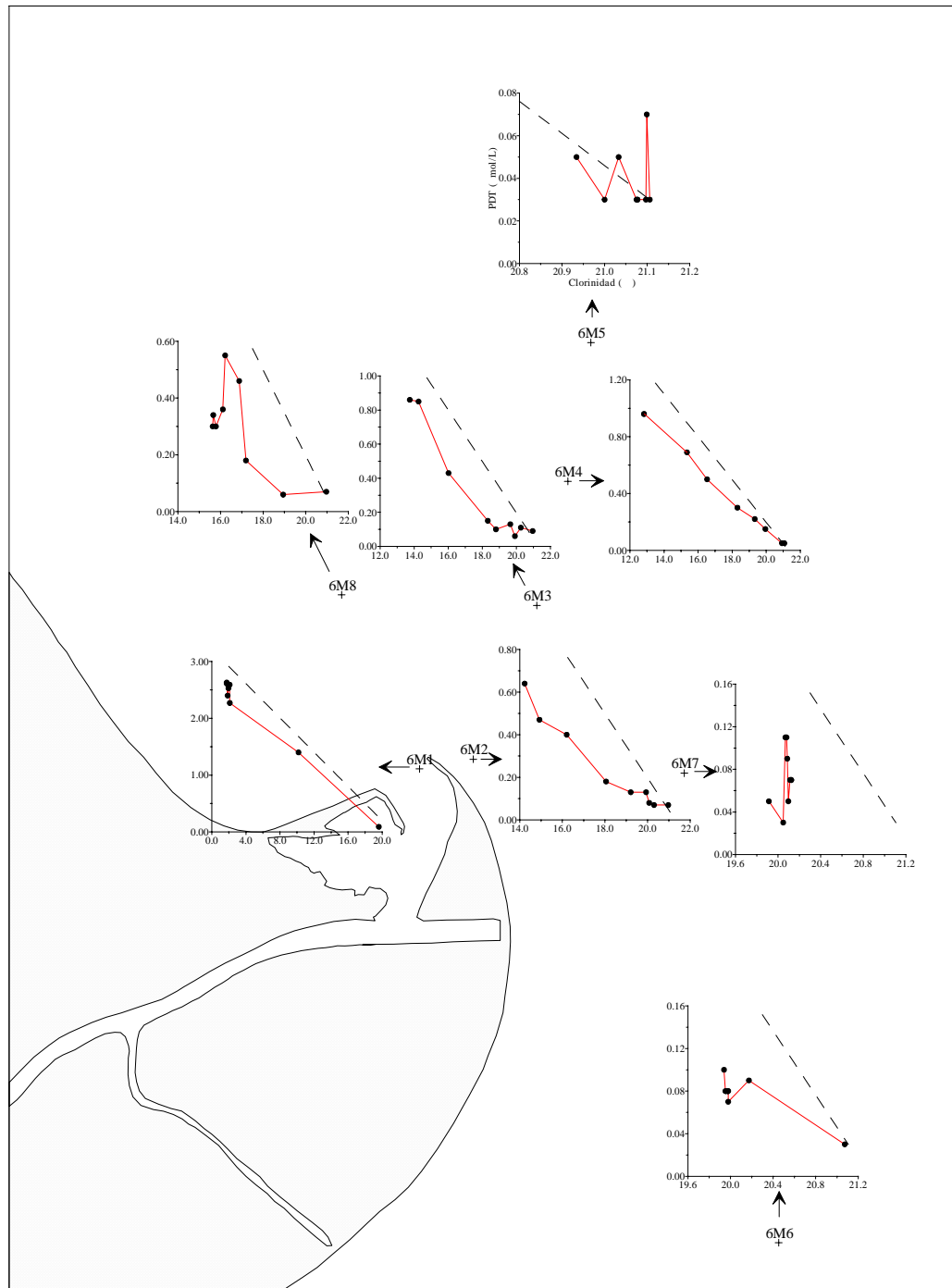


Figura 4.6.35. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

En la figura 4.6.36 se representa el comportamiento global en la pluma estuarina. Se observa que el comportamiento predominante es de claras pérdidas, al igual que ocurría en el caso del PSR (figura 4.6.31), debido a la predominancia del consumo por parte de las comunidades planctónicas sobre otros procesos que aumentarían su concentración.

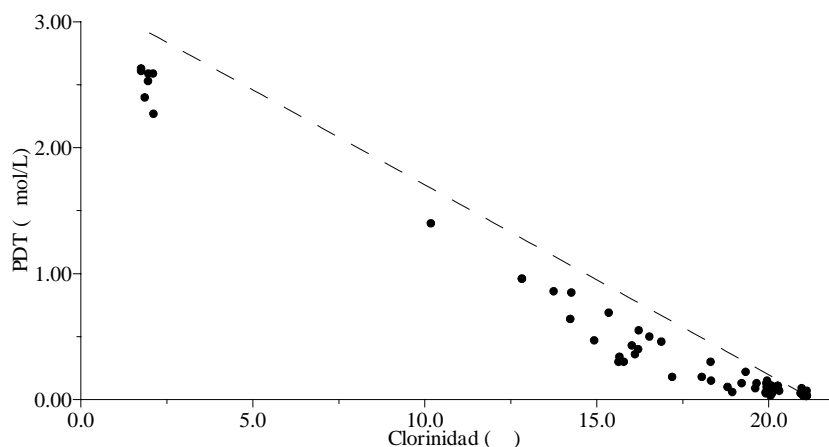


Figura 4.6.36. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.9.- Fósforo Total (PT)

La concentración de PT varía en este muestreo desde un máximo de 2.83 $\mu\text{mol/L}$ localizado en 6M1 a 0.20 m de profundidad, hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en 6M6, 6M7 y 6M5 a las mayores profundidades. En la tabla 4.6.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	2.83	-0.20	0.34	-2.0
6M4	0.97	0.00	0.03	-5.0
6M3	1.17	0.00	0.11	-5.0
6M2	1.10	0.00	0.07	-5.0
6M8	0.85	0.00	0.09	-5.0
6M6	0.19	-0.05	<0.03	-5.0
6M7	0.18	0.00	<0.03	-5.0
6M5	0.05	-0.20, -0.30, -0.50	<0.03	-0.10, -0.75, -1.00, -5.0

Tabla 4.6.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

Los valores más altos de PT se encuentran en la estación localizada en la desembocadura del río Ebro (6M1), disminuyendo éstos al hacerlo la influencia fluvial. Como ya se vio en otros muestreos, en cada una de las estaciones, las mayores concentraciones se encuentran en las capas superficiales y las menores en las más profundas.

En la figura 4.6.37 se ha representado la distribución superficial obtenida para este muestreo, en el que se desecharon los valores obtenidos en 6M1 y 6M5 (tabla 4.6.6). Aún así se observa en la figura (b), realizada “a mano alzada”, que las aguas de mayor concentración se encuentran cercanas a la desembocadura, disminuyendo al hacerlo la influencia fluvial.

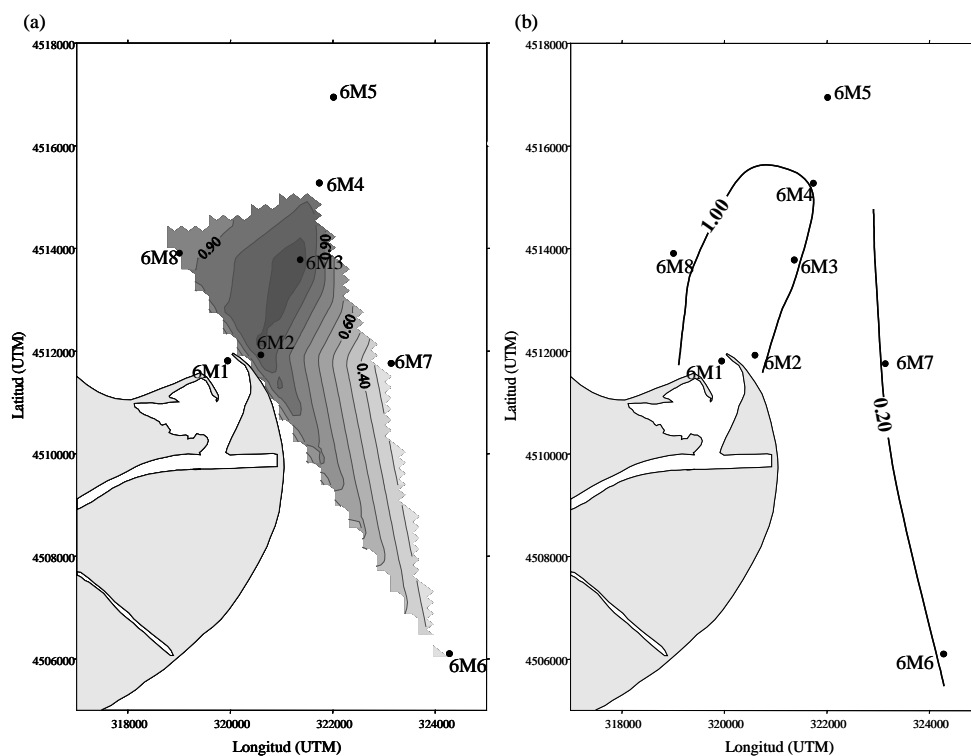


Figura 4.6.37. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 6.

En la figura 4.6.38 se representa la distribución vertical obtenida en el transecto 6M1-6M5, donde, a pesar de la falta de algunos valores, se aprecia una disminución de la concentración de PT al aumentar la profundidad en todas las estaciones.

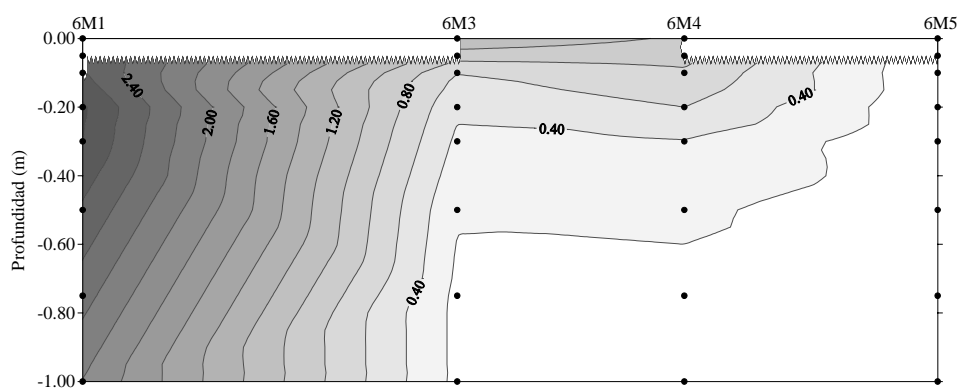


Figura 4.6.38. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 6M1-6M5.

Estas disminuciones se aprecian más claramente en la figura 4.6.39, donde se muestra los perfiles para cada una de las estaciones.

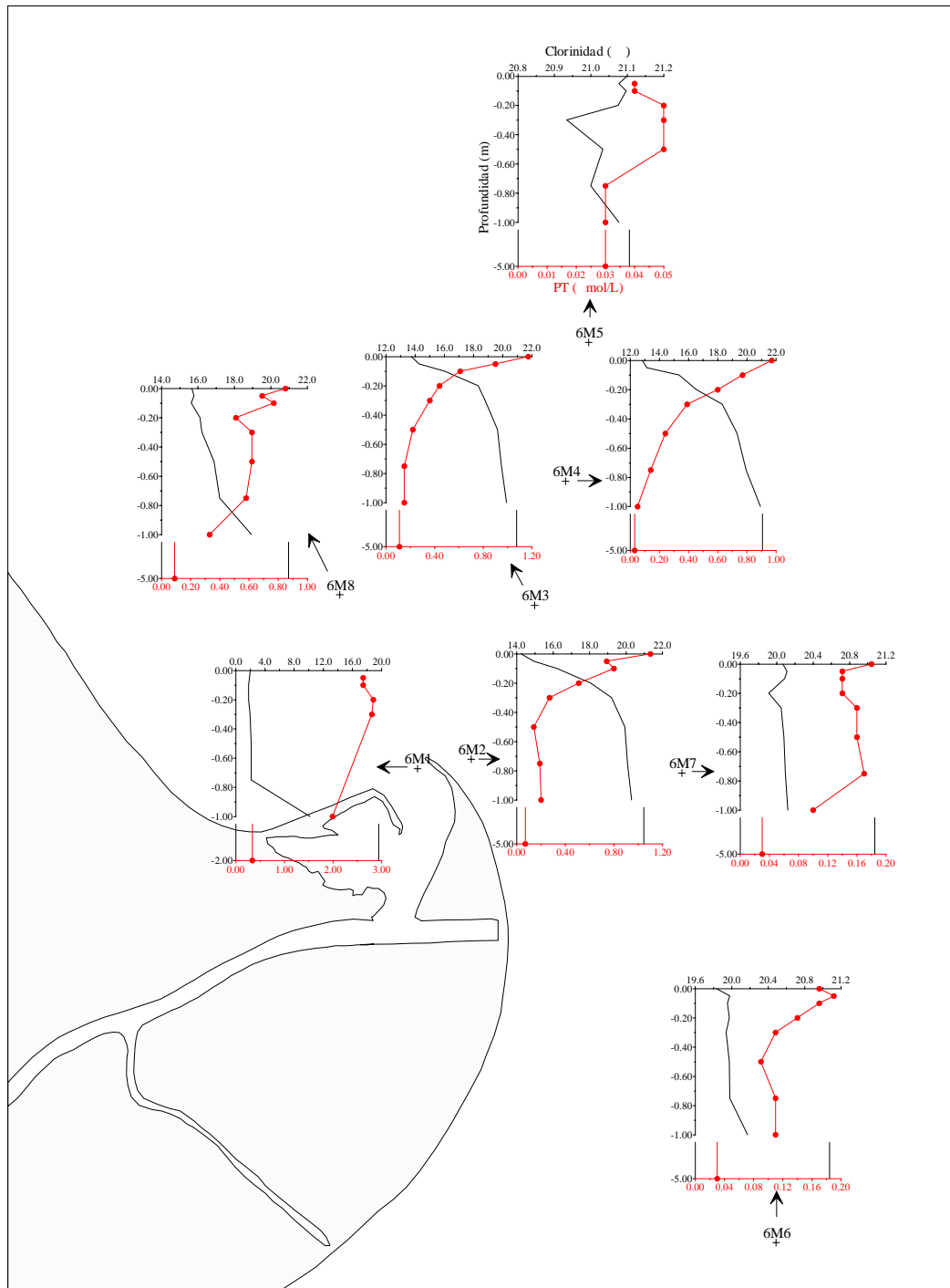


Figura 4.6.39. Perfiles verticales de PT. Muestreo 6.

En todas las estaciones las concentraciones disminuyen al aumentar la profundidad, encontrando desviaciones en algunas de ellas. En las estaciones de mayor influencia continental éstas se producen en las capas más superficiales de 6M1, 6M2 y 6M8. En cambio, en las de menor influencia fluvial tienen lugar en superficie (6M6 y 6M5) y a mayor profundidad (6M6 y 6M7). La mayoría de los perfiles de PT coinciden con los de PDT y por tanto con los de PSR, con lo cual podemos asegurar que los cambios y desviaciones que se producen en el PT son

debidos casi exclusivamente al PSR y no tanto a las formas orgánicas o particuladas por lo menos en las estaciones de mayor influencia fluvial, no pudiendo asegurar lo mismo para las más salinas (6M6, 6M7 y 6M5) por los bajos niveles de PSR encontrados.

En la figura 4.6.40 se muestra la variación del PT con la clorinidad en cada una de las estaciones.

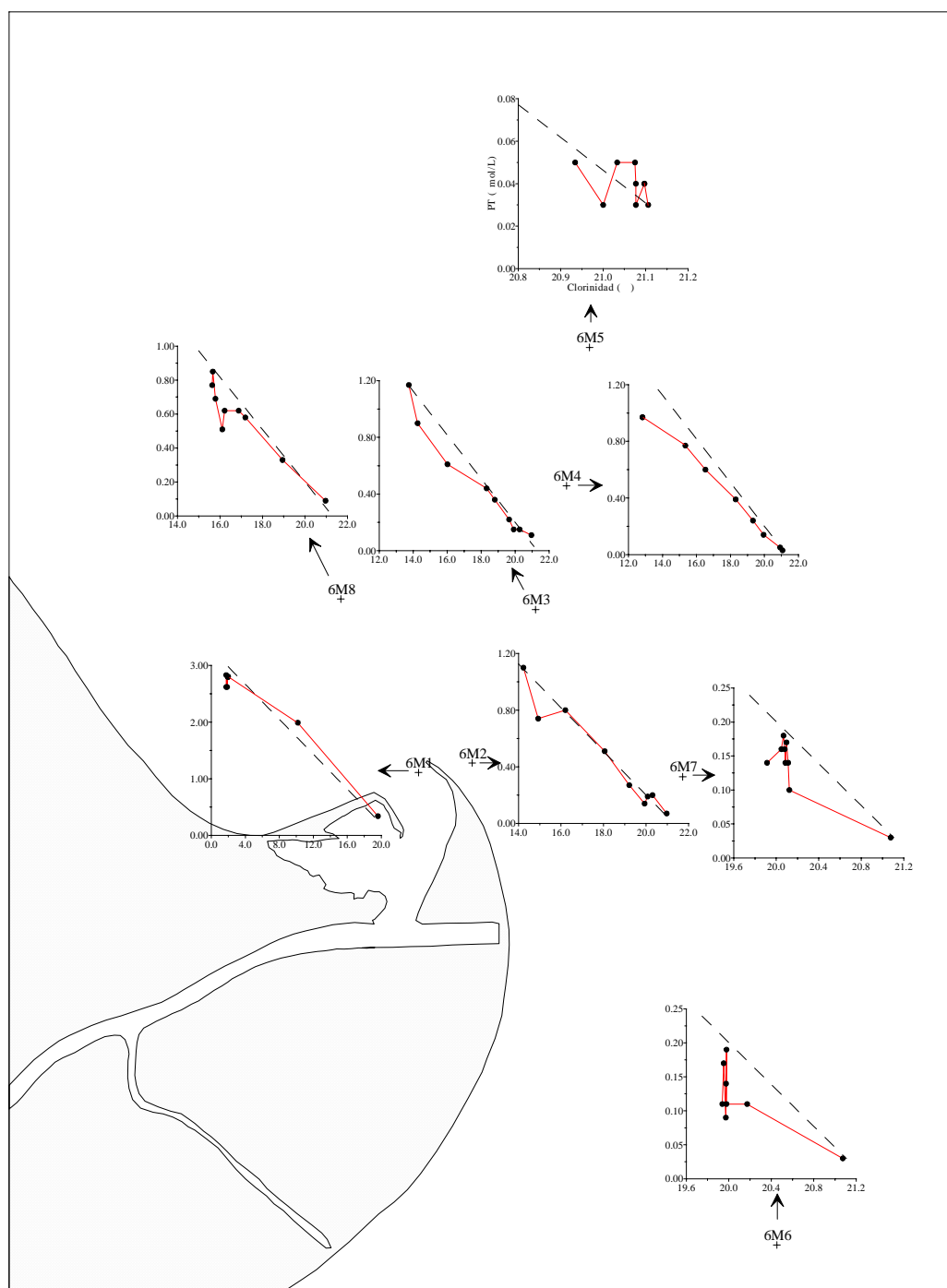


Figura 4.6.40. Variación de la concentración de PT con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

Las concentraciones de PT disminuyen de manera gradual al aumentar la clorinidad. Sin embargo podemos ver que esta disminución no es muy lineal, encontrando concentraciones de menor concentración de lo esperado por la simple mezcla física entre dos masas de agua de diferente concentración.

Sin embargo en la figura 4.6.41 se comprueba claramente que, al igual que en otros muestreos, la mayoría de muestras quedan bastante cercanas a la línea de mezcla ideal dulce/salina, lo que nos confirma de nuevo que es la absorción del plancton el proceso que provoca las pérdidas encontradas en las formas disueltas, pues éstas pasan a fósforo particulado y provocan que el PT disminuya linealmente con la clorinidad.

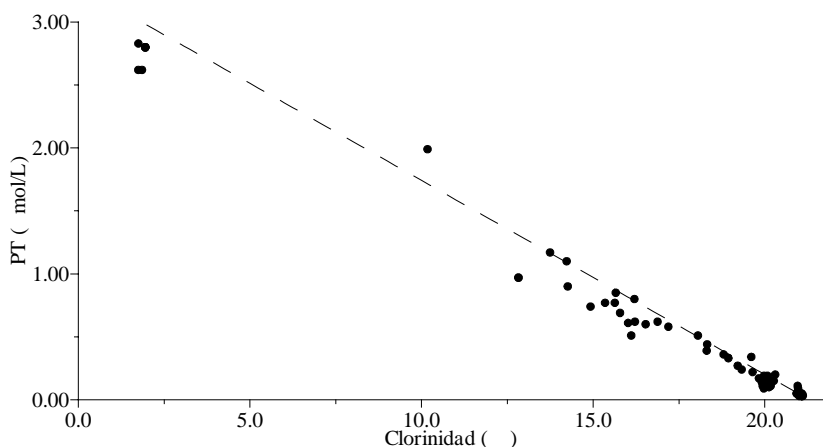


Figura 4.6.41. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.10.- Ácido Ortosilícico

La concentración de ácido ortosilícico en este muestreo posee un rango de variación similar a los dos anteriores, desde un máximo de 112.0 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 6M1 a 0.10 y 0.30 m de profundidad hasta un mínimo de 1.2 $\mu\text{mol/L}$ en 6M5 a 1.00 m. En la tabla 4.6.10 se muestra los valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones.

Como ocurre con otros nutrientes, las mayores concentraciones se encuentran en la estación situada en la desembocadura del río, y las más bajas en la de menor influencia continental (6M5). En cada una de las estaciones generalmente es en superficie donde se localizan los mayores niveles de ácido ortosilícico, disminuyendo al aumentar la profundidad por la dilución con las aguas salinas de menor concentración.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
6M1	112.0	-0.10, -0.30	7.3	-2.0
6M4	41.0	0.00	2.1	-5.0
6M3	33.8	0.00, -0.05	2.3	-5.0
6M2	35.0	0.00	2.0	-5.0
6M8	23.7	0.00	1.7	-5.0
6M6	8.1	-0.50	1.5	-5.0
6M7	6.8	-0.50	1.5	-5.0
6M5	1.6	-0.30	1.2	-1.00

Tabla 4.6.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

En la figura 4.6.42 se representa la distribución horizontal a 0.00 m de profundidad con el programa Surfer (a) y “a mano alzada” (b).

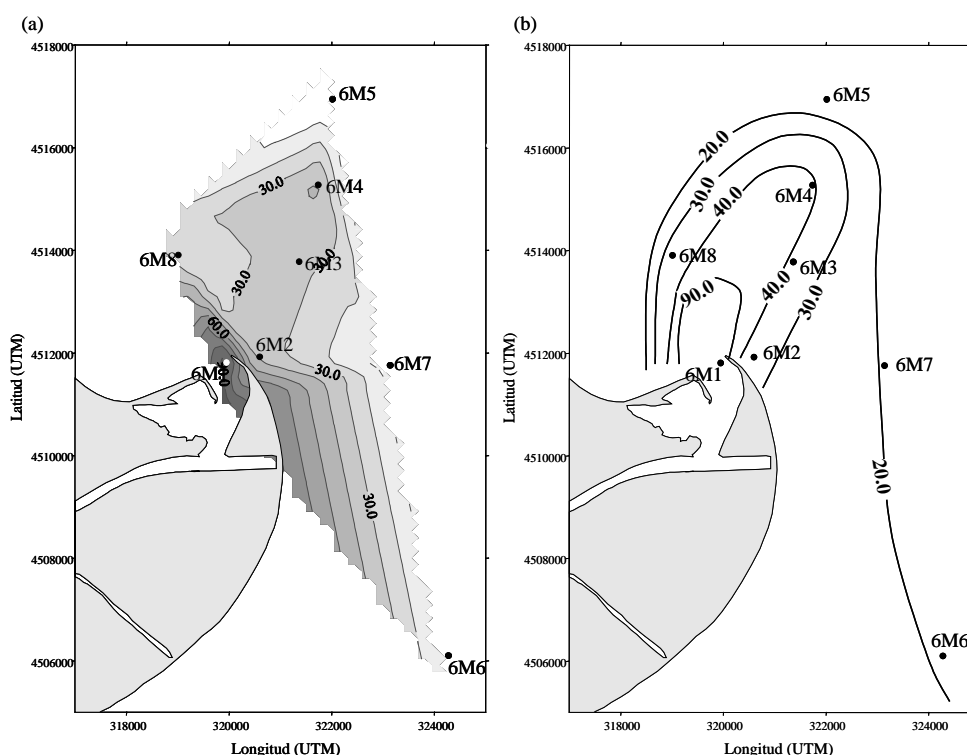


Figura 4.6.42. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 6.

En la figura (a) vemos que, igual que ocurre con otros nutrientes, las mayores concentraciones se localizan cerca de la boca del río Ebro, pero la imposibilidad de introducir “límites físicos” a la hora de interpolar genera esta distribución en la que parece que la pluma estuarina se traslada en dirección sur y no norte-noreste como era de esperar. En cambio en la figura (b) se aprecia la

esperada disminución de la concentración al alejarnos de la desembocadura y aumentar la clorinidad y un claro desplazamiento hacia el norte-noreste debido al efecto del viento.

La distribución vertical obtenida en el transecto 6M1-6M5 se muestra en la figura 4.6.43. Se observa una progresiva disminución de las concentraciones tanto al alejarnos de la desembocadura como al aumentar la profundidad.

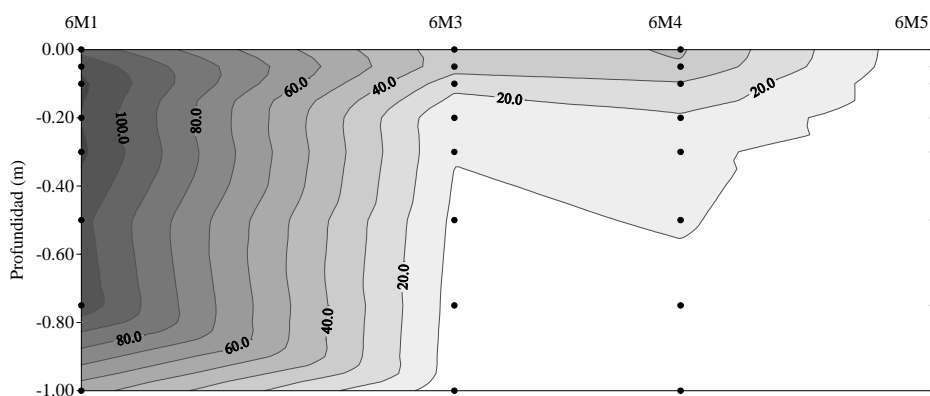


Figura 4.6.43. Distribución espacial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 6M1-6M5.

Es de destacar, como ya se hizo para la clorinidad y el fósforo, la mayor concentración superficial encontrada en la estación 6M4 respecto a 6M3, cuya explicación sería la misma que ya se dio en su momento.

En esta figura 4.6.43 parece a primera vista que no se producen desviaciones de la pauta general de disminución de este nutriente al aumentar la profundidad. Pero si observamos la figura 4.6.44, donde se ha representado los perfiles en cada una de las estaciones, vemos que en algunas de ellas sí que se dan desviaciones:

- En la estación de mayor influencia fluvial (6M1), se observa una cierta constancia en las concentraciones en los 75 cm superiores debido a la mínima variación que se produce en la clorinidad.

- En las estaciones 6M4, 6M3, 6M2 y 6M8 la concentración de este nutriente disminuye gradualmente a lo largo de toda la columna de agua. En 6M8 se encuentran pequeñas desviaciones de la pauta general de disminución entre 20 y 50 cm de profundidad, mostrando una situación intermedia entre estas estaciones de mayor influencia fluvial y las más salinas.

- En estas estaciones más salinas (6M6, 6M7 y 6M5) no hay una pauta clara con una distribución relativamente uniforme.

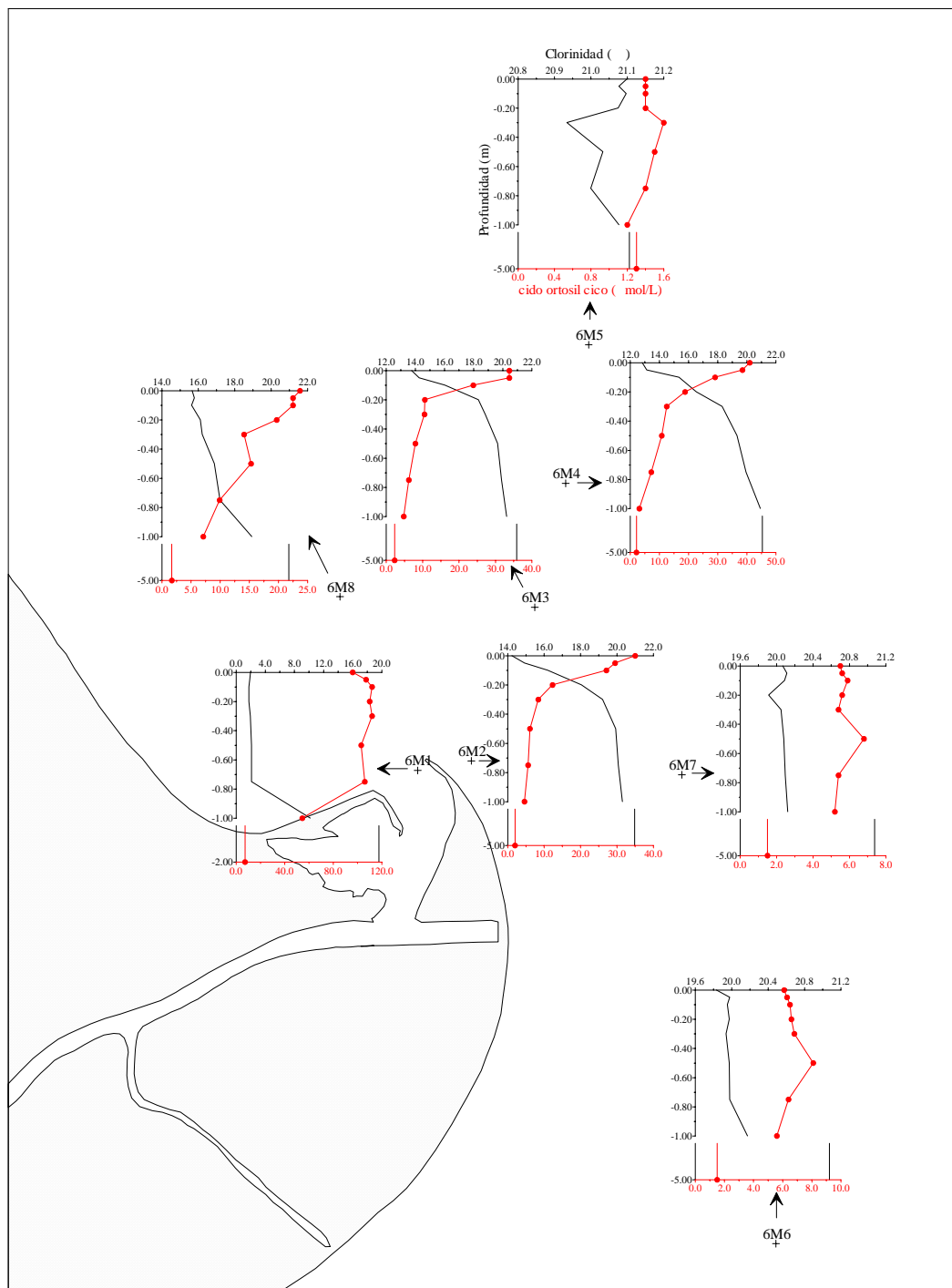


Figura 4.6.44. Perfiles verticales de ácido ortosilícico. Muestreo 6.

El comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina en cada una de las estaciones se muestra en la figura 4.6.45. Como era de esperar, en todas las estaciones, el ácido ortosilícico disminuye gradualmente al aumentar la clorinidad. Como ya ocurría en otros muestreos anteriores, en general se aprecian

ligeras pérdidas en todas las estaciones. Estas pérdidas son debidas probablemente a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida.

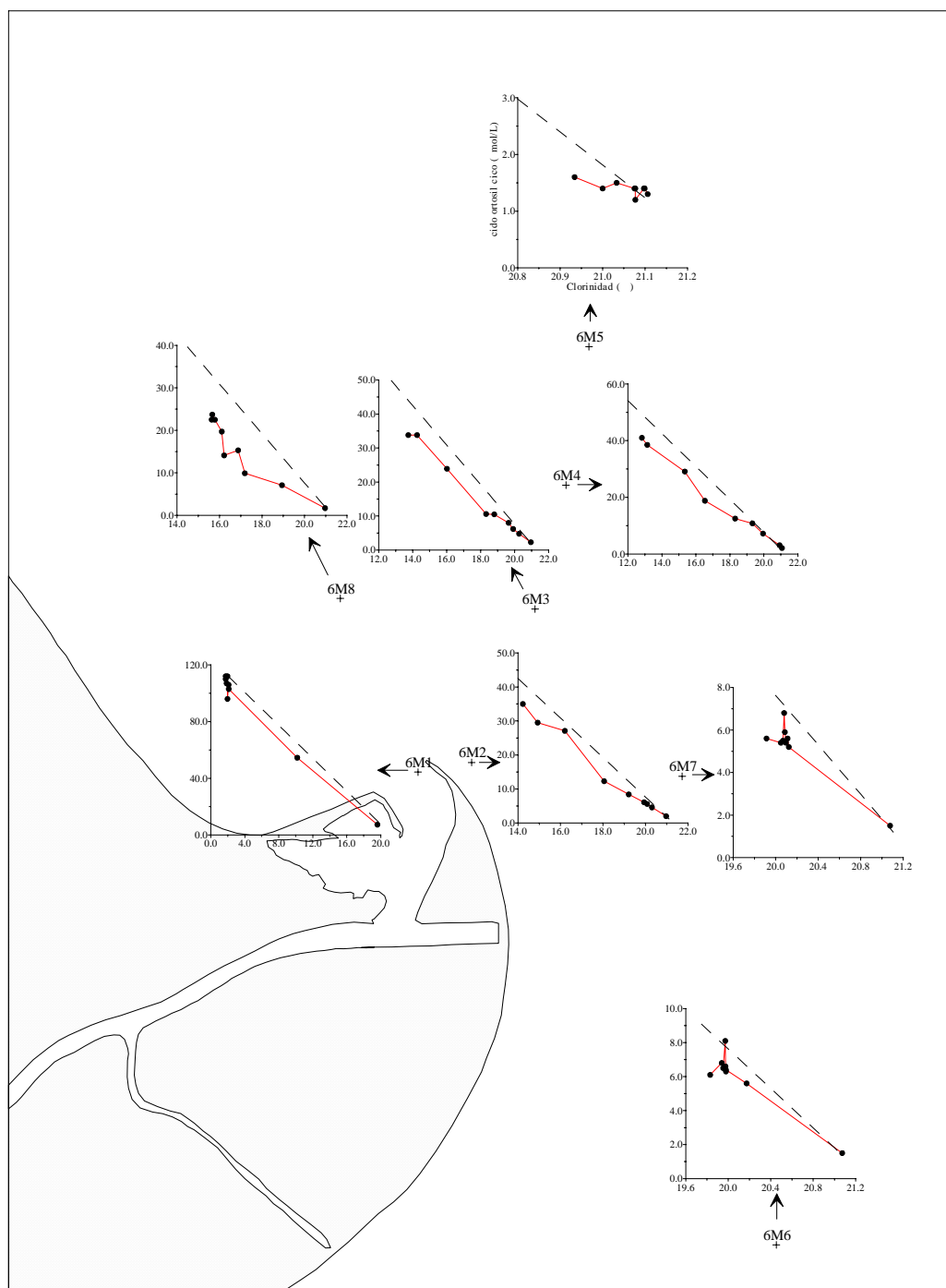


Figura 4.6.45. Comportamiento del ácido ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

El comportamiento global del ácido ortosilícico en la pluma estuarina, mostrado en la figura 4.6.46, es de ligeras pérdidas en todo el rango de salinidad. Éstas cabe achacarlas, como ya comentamos anteriormente a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida. Sin embargo

estas pérdidas no son tan acusadas como en otros muestreos, pues ni siquiera se llega a límites cercanos al agotamiento en ninguna de las estaciones, siendo la concentración promedio en las muestras más salinas de $1.5 \mu\text{mol/L}$, lo que nos asegura que en este muestreo no existe una floración significativa de diatomeas.

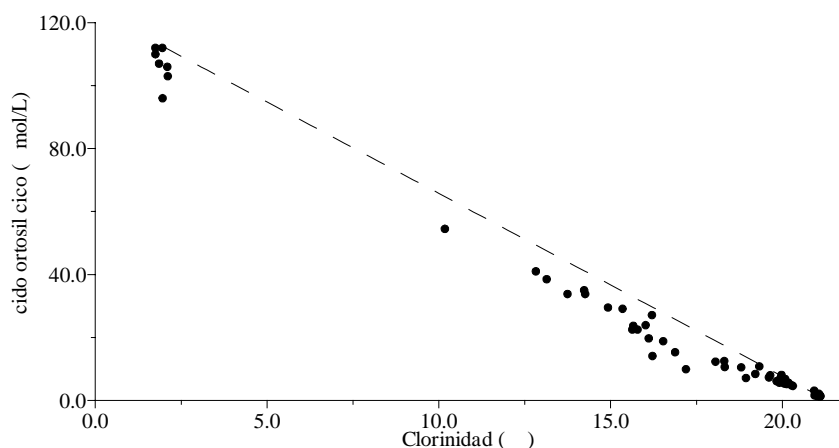


Figura 4.6.46. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.11.- Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* posee un rango de variación superior a los dos muestreos anteriores, desde un máximo de $12.98 \mu\text{g/L}$ a la profundidad de 0.00 m en la estación 6M1 hasta un mínimo inferior a $0.20 \mu\text{g/L}$ en 6M6 a 5.0 m y en 6M5 a diversas profundidades. En la tabla 4.6.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila *a* encontrados para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad (m)
6M1	12.98	0.00	7.26	-2.0
6M4	2.94	-0.05	0.28	-5.0
6M3	5.35	0.00	0.30	-5.0
6M2	5.06	0.00	1.17	-5.0
6M8	7.72	-0.50	0.86	-5.0
6M6	2.56	-0.10	<0.20	-5.0
6M7	3.47	-0.20	0.36	-5.0
6M5	0.26	0.00	<0.20	-0.05, -0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0

Tabla 4.6.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

Los mayores valores se localizan en la estación de mayor influencia continental (6M1), mientras que los mínimos en la de menor (6M5). Además, y al igual que ocurre con los nutrientes, en cada una de las estaciones la concentración de clorofila *a* disminuye gradualmente con la profundidad, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento en las estaciones 6M6 y 6M5.

En la figura 4.6.47 se ha representado las distribuciones superficiales. En la figura (a) se observa algo similar a lo que ya se vio para los nutrientes, y es que la imposibilidad de introducir “límites físicos” en el programa utilizado para interpolar genera esta distribución superficial donde parece que la pluma estuarina se desplace en dirección sur y no norte como era de esperar por el efecto del viento. Sin embargo en la figura (b) se aprecia el esperado desplazamiento hacia el norte-noreste debido al viento proveniente del sur-suroeste.

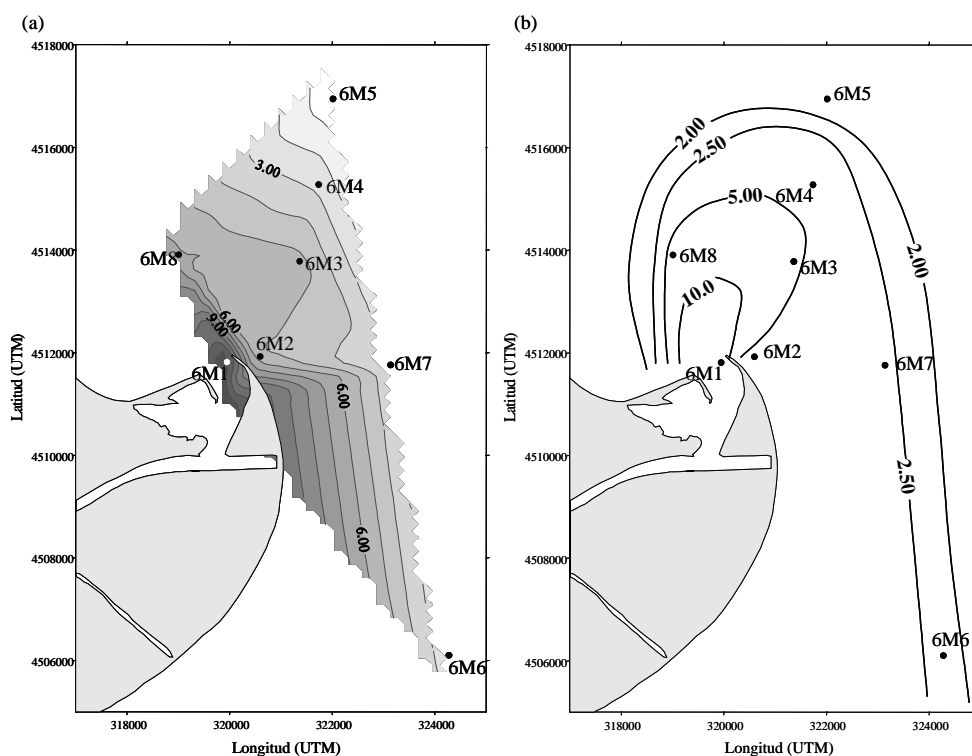


Figura 4.6.47. Distribución superficial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$). Muestreo 6.

La distribución vertical en el transecto formado entre las estaciones 6M1 y 6M5 se representa en la figura 4.6.48. La concentración de clorofila *a* va disminuyendo gradualmente al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad. Existen ligeras desviaciones de la pauta de disminución al aumentar la profundidad en las capas más superficiales, que también se observan en la figura 4.6.49.

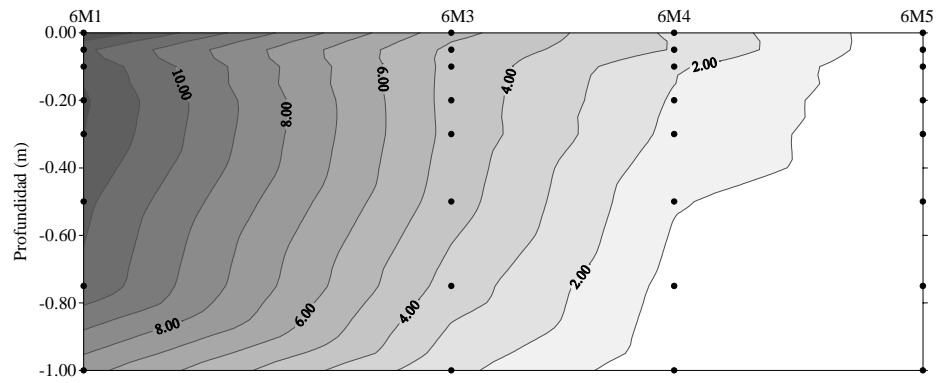


Figura 4.6.48. Distribución espacial de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 6M1-6M5.

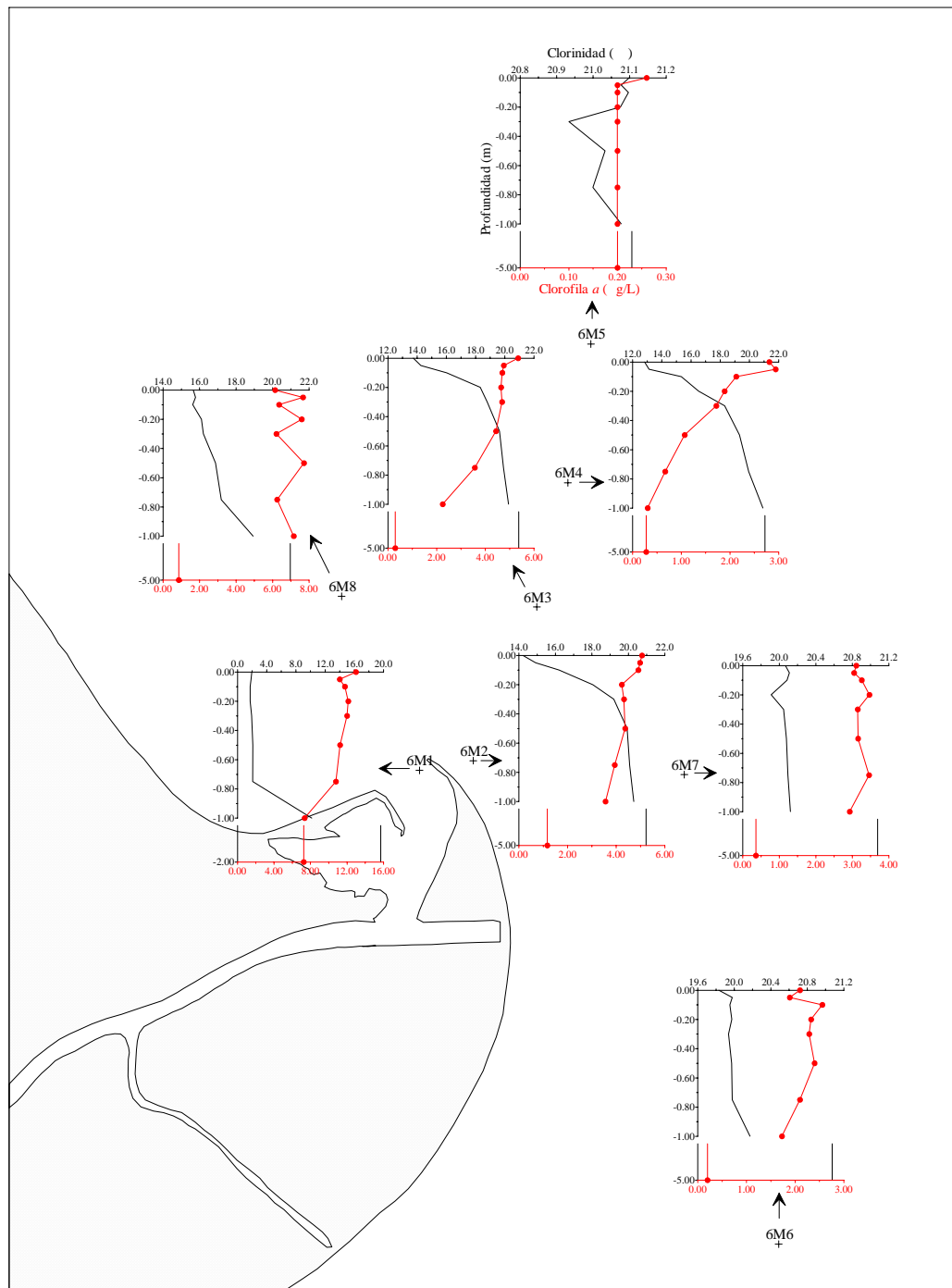


Figura 4.6.49. Perfiles verticales de clorofila a . Muestreo 6.

Aunque, como ya hemos indicado, la pauta general es de disminuir la concentración al aumentar la profundidad, se ha de resaltar:

- la casi constancia en algunas de las estaciones, 6M1, 6M6, 6M7 y 6M5, debido a una mínima variación en la clorinidad.

- aunque en el resto de estaciones (6M4, 6M3, 6M2 y 6M8) la clorinidad disminuye gradualmente con la profundidad desde los primeros centímetros, los valores de clorofila *a* no disminuyen tanto como era de esperar, y solamente en 6M4 se observa una disminución gradual. Esto probablemente quepa achacarlo a un mayor desarrollo de la comunidad fitoplanctónica en estas estaciones 6M3, 6M2 y 6M8.

- los niveles de clorofila *a* cercanos al agotamiento encontrados en la estación más salina (6M5) podría achacarse a un mínimo desarrollo de la comunidad fitoplanctónica por los bajos valores de nutrientes.

En la figura 4.6.50 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones. Al igual que ocurre en otros muestreos, las concentraciones de clorofila *a* disminuyen al aumentar la clorinidad, pero se encuentra diversas variaciones en algunas estaciones. Ante todo se ha de resaltar que en todas las estaciones (excepto en 6M4 y 6M5) las muestras quedan situadas por encima de la línea de mezcla ideal de origen fluvial (línea negra), siendo especialmente llamativo en 6M1, lo que nos lleva a pensar en una mala elección del extremo dulce de esta línea. Pero la línea obtenida utilizando el promedio de las muestras dulces de 6M1 (línea azul) nos da similares resultados.

Exceptuando las estaciones 6M4 y 6M5, existe un aumento inesperado del número de células fitoplanctónicas que cabría achacar a un mayor crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas. Sin embargo en 6M4 y 6M5 las concentraciones de clorofila *a* son menores de lo esperado, lo que nos lleva a pensar en una disminución del número de células fitoplanctónicas por una disminución en los niveles de nutrientes (6M5) o por una disminución de la fotosíntesis debida a un incremento de la turbidez o por la muerte celular de la comunidad fitoplanctónica (6M4).

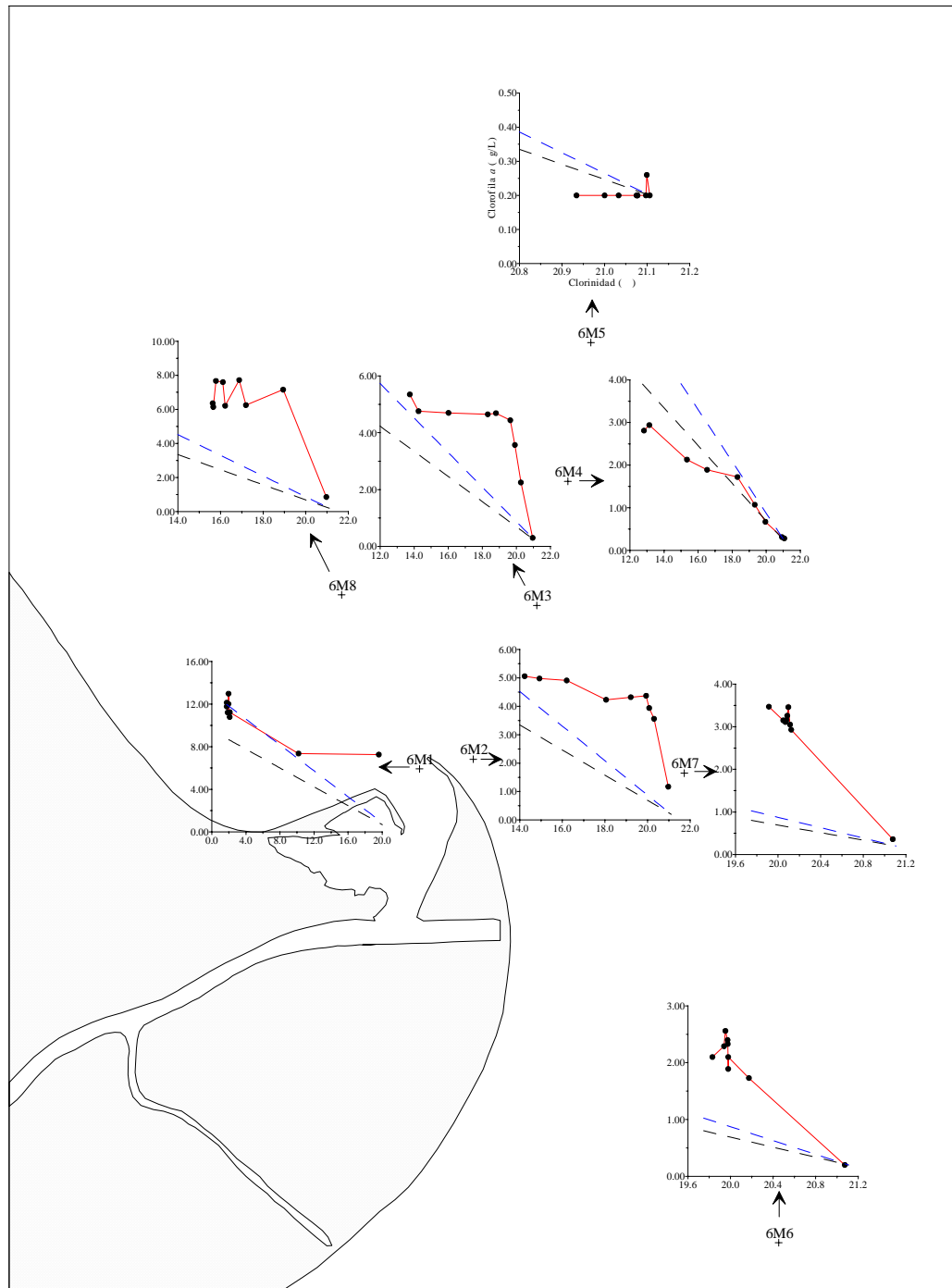


Figura 4.6.50. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 6.

En la figura 4.6.51 se muestra la variación global de las concentraciones de clorofila *a* con la clorinidad. Como ya hemos comentado anteriormente, la mayoría de las muestras (sobre todo a clorinidades mayores de 15‰) quedan situadas por encima de las líneas de mezcla ideal, indicando un aumento inesperado del número de células fitoplanctónicas.

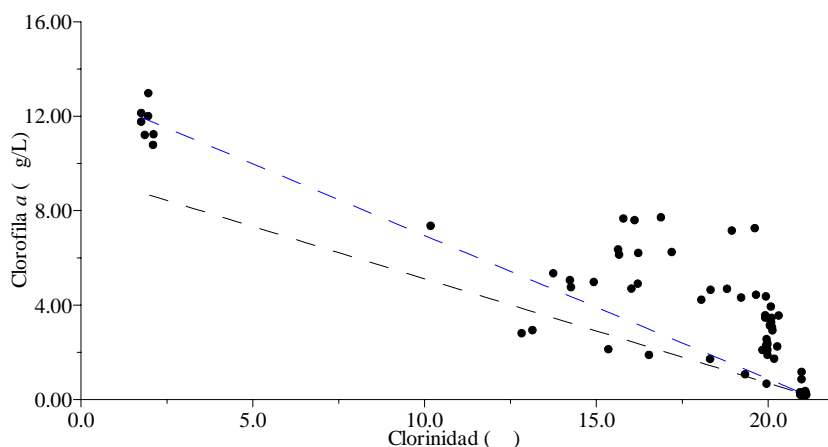


Figura 4.6.51. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 6.

4.6.12.- Relaciones entre nutrientes

a) NID/PSR

La relación NID/PSR posee un rango de variación desde un valor máximo de 662.0 localizado en la estación 6M3 a 0.10 m de profundidad hasta un mínimo de 8.3 en 6M1 a 0.10 m. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.6.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
6M1	96.0	-2.0	8.3	-0.10
6M4	332.0	-0.30	47.5	-1.00
6M3	662.0	-0.10	>96.7	-5.0
6M2	472.5	-0.20	18.0	-5.0
6M8	246.0	-1.00	>53.3	-5.0
6M6	>276.7	-0.30	>63.3	-5.0
6M7	>190.0	-0.20, -0.30	>46.7	-5.0
6M5	>116.7	-0.75	37.5	0.00

Tabla 4.6.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

A la vista de los resultados obtenidos, y como ya ocurriera en otros muestreos, no parece existir una clara pauta de variación de esta relación con la profundidad, pues tanto los máximos como los mínimos se localizan a diferentes profundidades, al influir tanto las concentraciones de NID como las de PSR.

Las variaciones de esta relación con la profundidad para cada una de las estaciones se representa en la figura 4.6.52.

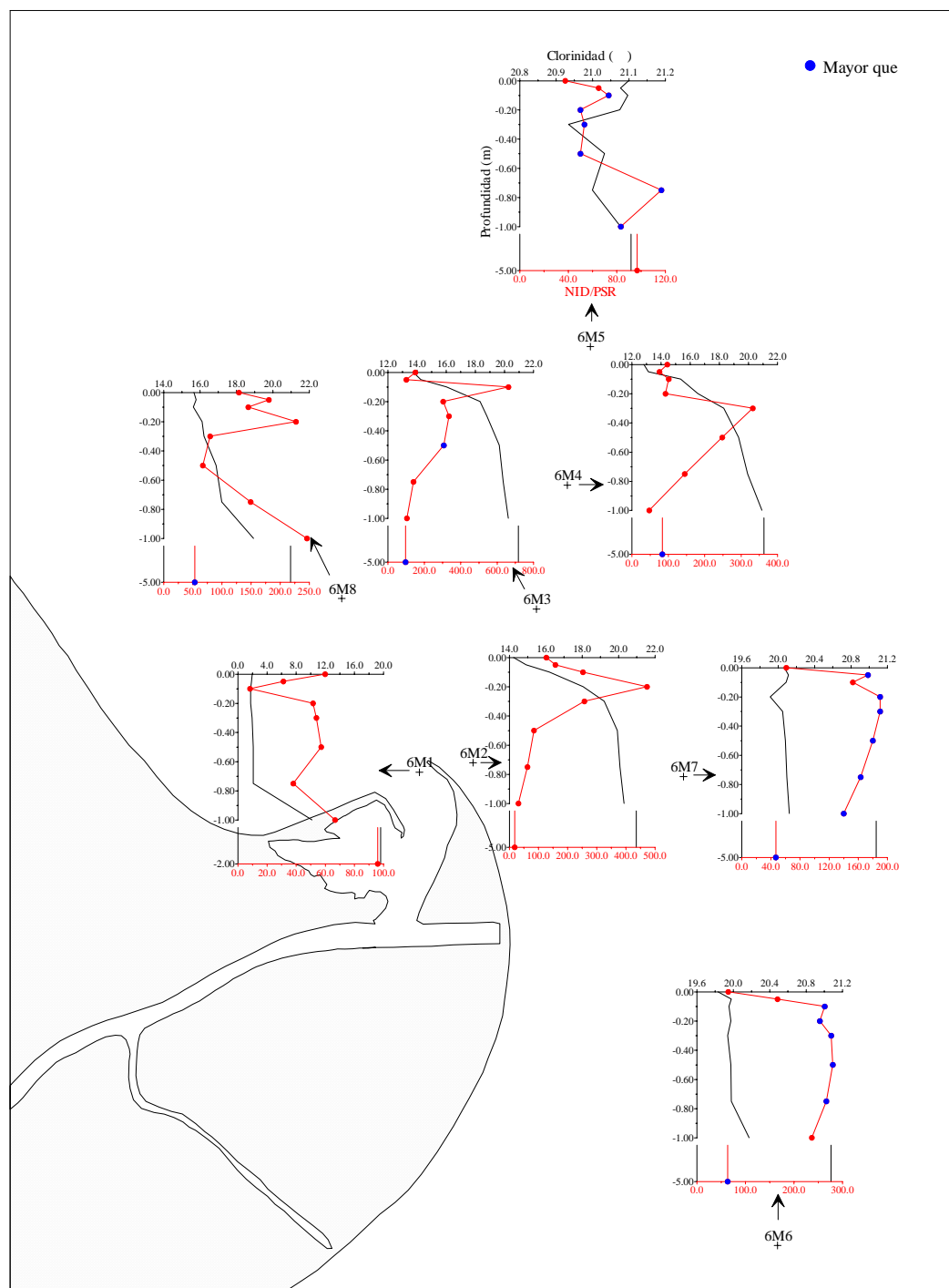


Figura 4.6.52. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 6.

A diferencia de los muestreos de días precedentes (8 y 9 de octubre), se encuentran bastantes valores que son “mayores que” debido a la cantidad de muestras donde el PSR está por debajo del límite de detección del método analítico, sobre todo en las estaciones más salinas (6M6, 6M7 y 6M5). Parece

apreciarse una ligera pauta con la profundidad. En todas las estaciones (excepto en 6M1) los valores de esta relación aumentan desde la superficie hasta un máximo localizado a profundidades variables (6M4 a 0.30 m, 6M3 a 0.10 m, 6M2 a 0.20 m, 6M8 a 0.20 m, 6M6 a 0.30 m, 6M7 a 0.20 m, y 6M5 a 0.10 m), posteriormente comienza a disminuir hasta llegar a los mínimos a las mayores profundidades, excepto en 6M8 y 6M5 en los que aumenta de nuevo. Si se comparan estos perfiles (figura 4.6.52) con los de NID (figura 4.6.24) y los de PSR (figura 4.6.29), se aprecia una total ausencia de similitud entre ellos, con cuatro excepciones. Éstas son aquellas en las que los valores de PSR estaban cercanos al agotamiento (6M6, 6M7 y 6M5) y donde eran casi constantes (6M1), con lo que sus perfiles de NID/PSR son similares a los del NID (en 6M6 y 6M7 sólo a partir de 20 cm de profundidad). En el resto de estaciones influyen tanto los valores de NID como los de PSR, con lo cual hay una ausencia casi total de similitud.

En la figura 4.6.53 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad. Como ocurre en los muestreos anteriores, los valores de NID/PSR son todos mayores de 20 (excepto dos muestras que se corresponden con la estación 6M1 a 0.10 m por la disminución que se producía en el nitrato y 6M2 a 5.0 m de profundidad) debido a las bajas concentraciones de PSR encontradas, por lo que podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante

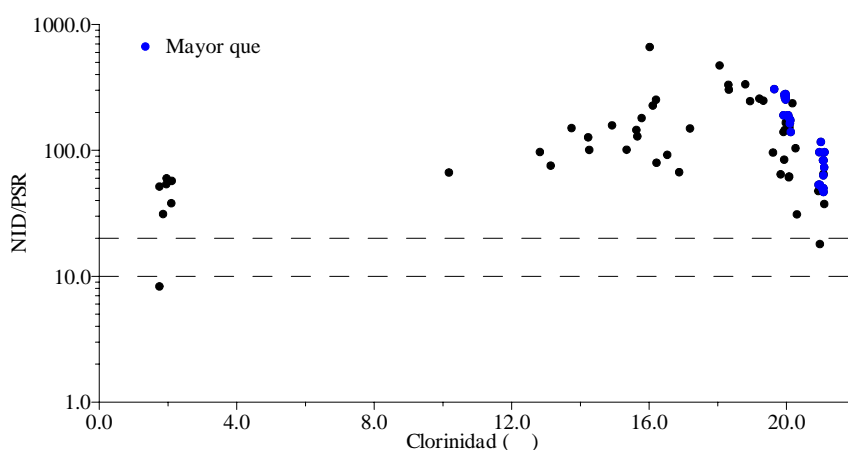


Figura 4.6.53. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 6.

b) NID/Ácido ortosilícico

La relación NID/ácido ortosilícico posee un rango de variación desde un máximo de 2.5 localizado en la estación 6M5 a 0.75 m de profundidad hasta un mínimo de 0.2 en 6M1 a 0.10 m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.6.13.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
6M1	1.3	0.00, -2.0	0.2	-0.10
6M4	1.4	-0.20	0.6	-1.00
6M3	1.7	-0.20	0.9	-0.75
6M2	1.5	-0.20	0.7	-1.00
6M8	2.1	-0.75	0.9	-5.0
6M6	1.3	-0.05, -0.75, -1.00, -5.0	1.0	-0.50
6M7	1.1	-0.30	0.8	-0.50, -1.00
6M5	2.5	-0.75	1.0	-0.30, -0.50

Tabla 4.6.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 6.

Al igual que en otros muestreos no se observa ninguna clara pauta ni en la horizontal ni en la vertical debido al bajo rango de variación obtenido, pues tanto los máximos como los mínimos se localizan a cualquier profundidad y además tampoco existen diferencias claras entre estaciones.

En la figura 4.6.54 se ha representado la variación de esta relación con la profundidad. Ante todo se ha de destacar la ausencia total de valores “mayores que” debido a la inexistencia de muestras en las que el ácido ortosilícico está cercano al agotamiento. Si comparamos estos perfiles (figura 4.6.54) con los obtenidos para el NID (figura 4.6.24) y para el ácido ortosilícico (figura 4.6.44) se observa que solamente en algunas estaciones (6M1, 6M6, 6M7 y 6M5) hay una cierta similitud entre los de esta relación y los del NID debido a la casi constancia en los valores del ácido ortosilícico. En el resto de estaciones la influencia de ambos nutrientes provoca una ausencia de similitud entre estos perfiles. Se ha de resaltar que debido al pequeño rango de variación obtenido en los valores de NID/ácido ortosilícico, cualquier mínimo cambio en ésta provoca grandes

discontinuidades en sus perfiles con lo que no se observa una pauta clara de variación con la profundidad.

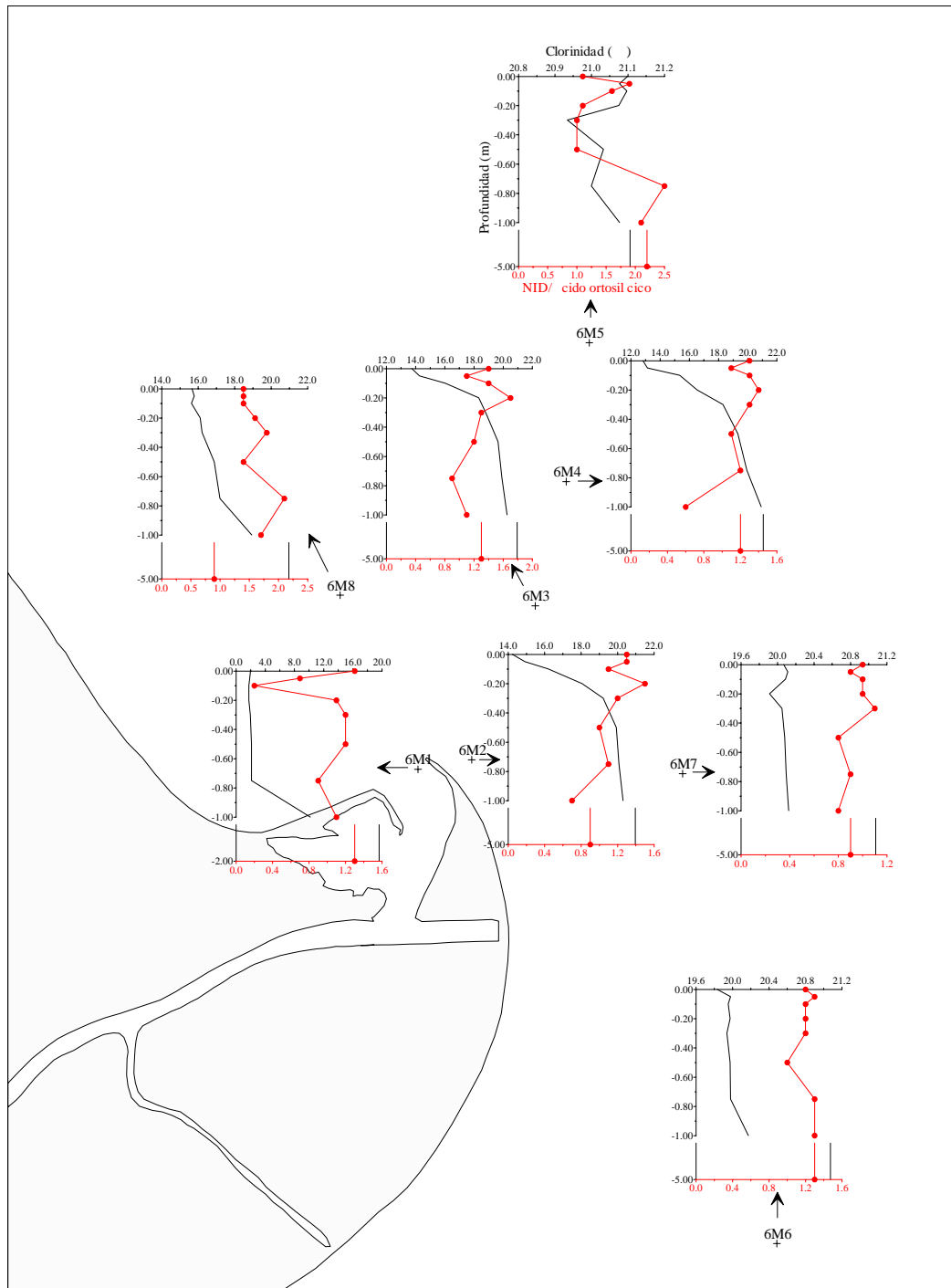


Figura 4.6.54. Perfiles verticales de NID/ácido ortosilícico. Muestreo 6.

En la figura 4.6.55 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad. Al igual que ocurría con anteriores muestreos, en todo el rango de clorinidades esta relación se mantiene aproximadamente constante en torno a 1, con algunas excepciones. La mayoría de los valores son mayores de 1, con lo que

en principio el NID no sería el nutriente limitante. Pero la cercanía de todos ellos a este valor límite provoca que cualquier mínimo cambio en las concentraciones de NID o de ácido ortosilícico varíe el nutriente que limita el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas.

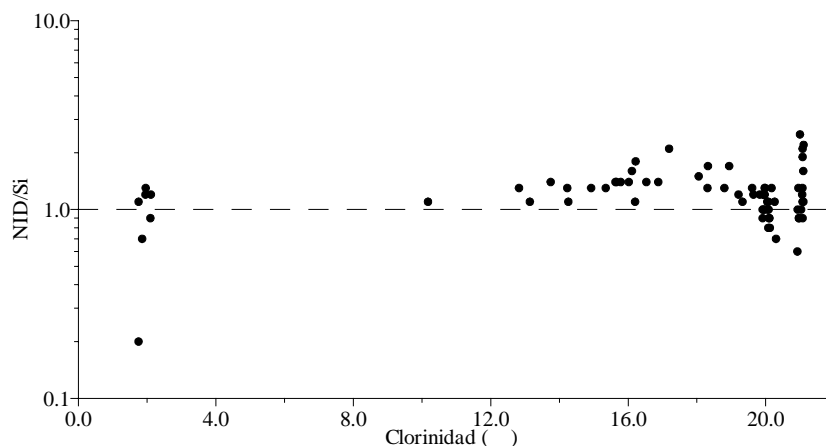


Figura 4.6.55. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 6.

4.6.13.- Tratamiento estadístico

Se ha realizado el análisis factorial incluyendo las 9 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*. La matriz de correlación anti-imagen mostrada en la tabla 4.6.14 nos indica que todas las variables son idóneas para el tratamiento estadístico.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	1.495E-03	-1.062E-02	1.512E-03	2.362E-03	-1.168E-03	-2.140E-04	-6.615E-03	1.303E-03	9.478E-03
	Amonio	-1.062E-02	0.547	-1.334E-02	1.468E-02	-8.495E-03	2.216E-02	7.051E-02	-8.879E-03	-2.378E-02
	Nitrito	1.512E-03	-1.334E-02	1.997E-03	-6.215E-05	2.648E-05	-1.286E-03	-7.503E-03	3.279E-04	7.981E-03
	Nitrato	2.362E-03	1.468E-02	-6.215E-05	0.153	4.746E-03	-1.845E-03	4.376E-02	1.740E-03	4.141E-03
	PSR	-1.168E-03	-8.495E-03	2.648E-05	4.746E-03	1.850E-02	-1.014E-02	2.276E-02	-5.842E-03	-1.275E-02
	PDT	-2.140E-04	2.216E-02	-1.286E-03	-1.845E-03	-1.014E-02	1.814E-02	-1.724E-03	4.840E-06	7.293E-03
	PT	-6.615E-03	7.051E-02	-7.503E-03	4.376E-02	2.276E-02	-1.724E-03	0.239	-1.213E-02	-5.594E-02
	Ác. ortosil	1.303E-03	-8.879E-03	3.279E-04	1.740E-03	-5.842E-03	4.840E-06	-1.213E-02	4.720E-03	9.214E-03
	Clorofila	9.478E-03	-2.378E-02	7.981E-03	4.141E-03	-1.275E-02	7.293E-03	-5.594E-02	9.214E-03	0.139
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.782</u>	-0.371	0.875	0.156	-0.222	-4.109E-02	-0.350	0.491	0.657
	Amonio	-0.371	<u>0.804</u>	-0.404	5.082E-02	-8.444E-02	0.222	0.195	-0.175	-8.624E-02
	Nitrito	0.875	-0.404	<u>0.827</u>	-3.561E-03	4.355E-03	-0.214	-0.343	0.107	0.479
	Nitrato	0.156	5.082E-02	-3.561E-03	<u>0.982</u>	8.934E-02	-3.506E-02	0.229	6.484E-02	2.843E-02
	PSR	-0.222	-8.444E-02	4.355E-03	8.934E-02	<u>0.865</u>	-0.554	0.342	-0.625	-0.251
	PDT	-4.109E-02	0.222	-0.214	-3.506E-02	-0.554	<u>0.935</u>	-2.618E-02	5.230E-04	0.145
	PT	-0.350	0.195	-0.343	0.229	0.342	-2.618E-02	<u>0.864</u>	-0.361	-0.307
	Ác. ortosil	0.491	-0.175	0.107	6.484E-02	-0.625	5.230E-04	-0.361	<u>0.871</u>	0.360
	Clorofila	0.657	-8.624E-02	0.479	2.843E-02	-0.251	0.145	-0.307	0.360	<u>0.830</u>

Tabla 4.6.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 6.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.862, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Meritorio”. Este análisis nos reduce estas 9 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de

1, que explica el 82.785% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.6.15.

La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.451	82.785	82.785
2	0.757	8.410	91.195
3	0.353	3.919	95.114
4	0.236	2.628	97.741
5	0.153	1.702	99.444
6	3.124E-02	0.347	99.791
7	1.408E-02	0.156	99.947
8	3.865E-03	4.294E-02	99.990
9	8.823E-04	9.803E-03	100.000

Tabla 4.6.15. Varianza total explicada.

La matriz del único componente extraído se muestra en la tabla 4.6.16.

	Componente 1
Clorinidad	-0.993
Amonio	0.552
Nitrito	0.993
Nitrato	0.910
PSR	0.971
PDT	0.980
PT	0.833
Ácido ortosili.	0.992
Clorofila	0.874

Tabla 4.6.16. Matriz de componentes para el muestreo 6.

Los aportes continentales juegan un papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados están íntimamente relacionados con la clorinidad. Los nutrientes y la clorofila poseen una pauta contraria a la de la clorinidad, teniendo ésta un signo contrario a las restantes.

4.7.- Muestreo 7 (1 febrero 2000)

4.7.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

El 1 de febrero de 2000 entre las 11:05 y las 15:50 (GMT), aproximadamente, se recogieron 98 muestras repartidas entre 11 estaciones. La temperatura media ambiental en la zona osciló entre los 5-10°C de mínima y los 20-23°C de máxima, según la información facilitada por la Generalitat de Catalunya. Los datos meteorológicos procedentes de la estación de Sant Carles de la Ràpita se muestran en la figura 4.7.1.

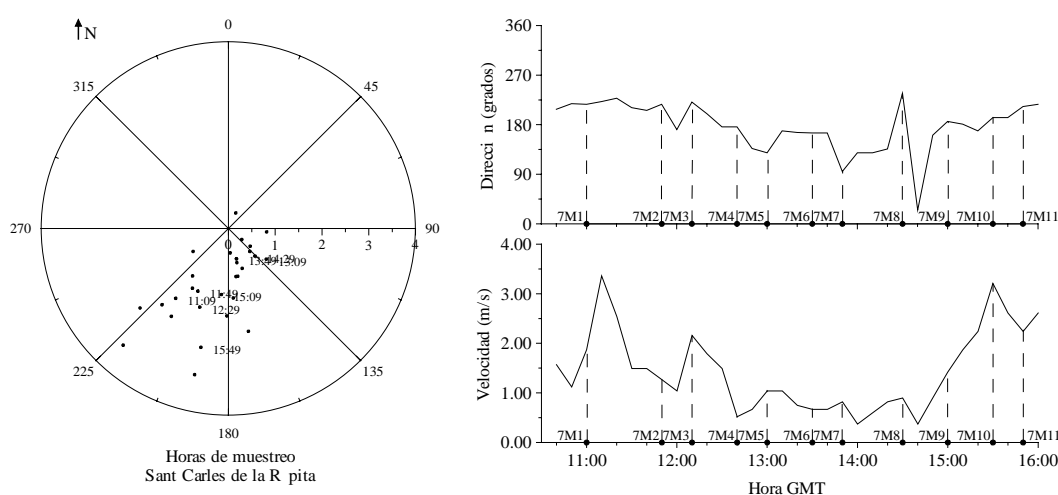


Figura 4.7.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 7.

La dirección del viento osciló entre 25.0 y 237.0 grados, con una dirección media de 174.1 grados. La velocidad osciló entre 0.37 y 3.36 m/s con un promedio de 1.41 m/s. En este muestreo existe una pequeña dispersión tanto en la dirección como en la velocidad del viento, pero en general éste fue muy débil y variable, predominando la componente sur-suroeste.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar por las mareas astronómicas y el oleaje, medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla se ha representado en la figura 4.7.2, obteniéndose el mismo rango de variaciones que en los muestreos anteriores.

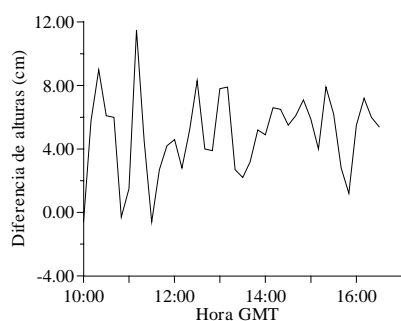


Figura 4.7.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 7.

La diferencia de altura máxima encontrada fue de 12.1 cm, por lo que al igual que en los muestreos anteriores consideraremos que las corrientes mareales y el oleaje no tienen gran importancia en este muestreo.

b.2) Caudales del río Ebro

En la figura 4.7.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo, con los datos procedentes de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en Tortosa. Al igual que ocurre en los muestreos anteriores, los caudales máximos horarios se localizan en las horas de mayor gasto hidroeléctrico, a primeras horas de la mañana y de la noche. Pero, como ya comentamos anteriormente, los caudales medidos en Tortosa no son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura.

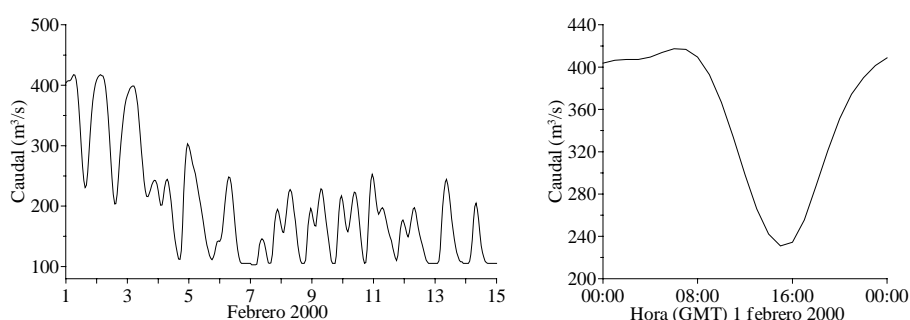


Figura 4.7.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 7.

b.3) Corrientes

En este muestreo, y también en el siguiente como más adelante veremos, no se posee datos de velocidad y dirección de la corriente del correntímetro ADP.

4.7.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

Al igual que en otros muestreos, se realizó una medida previa de la conductividad en superficie para situar las 11 estaciones de muestreo (Tabla A.12

del Anexo). En la figura 4.7.4 se representan los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 11 estaciones mediante el SWAS (Tabla A.13 del Anexo).

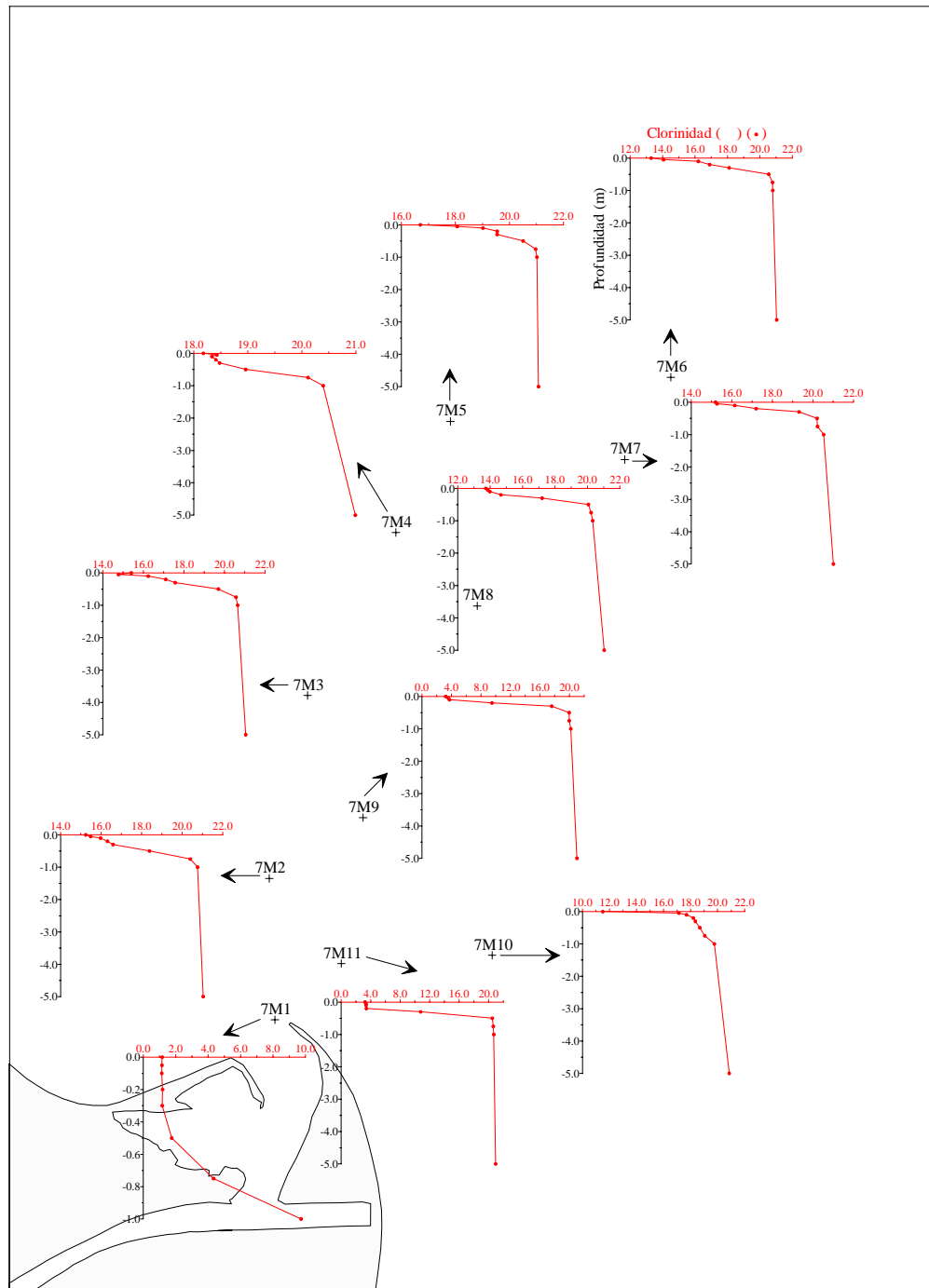


Figura 4.7.4. Perfiles de clorinidad (‰) (•) de las muestras de agua para el muestreo 7.

a) Temperatura

A pesar de que se realizaron medidas de temperatura con el CTD Seabird en todas las estaciones, las grandes variaciones obtenidas en las capas más superficiales nos impide estudiar estos resultados.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

En la figura 4.7.5 se ha representado los datos de conductividad que se obtuvieron en el muestreo previo. Podemos comprobar que la pluma de agua dulce/salobre se traslada hacia el norte-noreste, debido al efecto del viento dominante que provenía del sur-suroeste, como anteriormente comentamos.

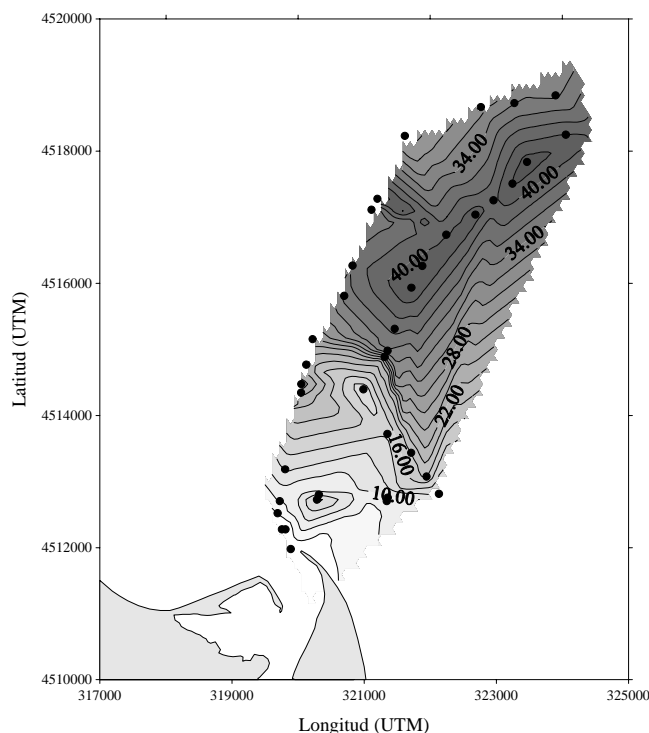


Figura 4.7.5. Distribución superficial de conductividad (mS/cm) en la toma previa de muestras. Muestreo 7.

En la figura 4.7.4 se observa los valores provenientes de la toma de muestras mediante el SWAS, que nos aportan una gran precisión en la capa de agua superficial.

En la tabla 4.7.1 se han especificado los valores máximos y mínimos de clorinidad (‰) de las muestras de agua recogidas a distintas profundidades en cada una de las estaciones. Los máximos se localizan en las capas más profundas de todas las estaciones, situándose los mínimos generalmente en superficie (excepto en 7M1 y 7M3 que se sitúan a nivel subsuperficial), y se debe a la diferencia de densidad entre las aguas dulces/salobres del río y las salinas del mar. Los valores de clorinidad van variando entre estaciones, aumentando desde 7M1, situada en la desembocadura del río Ebro, hasta 7M4 situada hacia el norte.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
7M1	9.731	-1.00	1.139	-0.10
7M9	21.026	-5.0	3.228	0.00
7M11	20.952	-5.0	3.241	0.00
7M10	20.859	-5.0	11.505	0.00
7M6	21.037	-5.0	13.290	0.00
7M8	21.033	-5.0	13.736	0.00
7M3	21.046	-5.0	14.773	-0.05
7M7	21.009	-5.0	15.194	0.00
7M2	21.037	-5.0	15.239	0.00
7M5	21.077	-5.0	16.701	0.00
7M4	20.989	-5.0	18.178	0.00

Tabla 4.7.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 7.

Esto mismo puede observarse en la figura 4.7.4, donde se representan los perfiles obtenidos en cada una de las estaciones. Es de destacar los menores valores de clorinidad encontrados en las estaciones 7M5, 7M6 y 7M7 respecto a 7M4 aunque ésta se encuentra situada más cerca de la desembocadura e incluso que las estaciones 7M2 y 7M3 bastante cercanas a la boca posean mayores clorinidades que la 7M6 (estación situada más al norte). Esto cabe achacarlo al viento procedente del sur-suroeste que traslada la pluma estuarina en dirección norte-noreste. La clorinidad aumenta con la profundidad observando los cambios más drásticos en el primer metro de la columna de agua en todas las estaciones. Pero existen diversas desviaciones de esta pauta general en las capas más superficiales de las estaciones 7M3 y 7M4, probablemente debido a cambios en la dirección y velocidad del viento y el oleaje o a una deficiencia del método de muestreo. Es en este muestreo donde las diferencias entre los valores de clorinidad a 1.00 y 5.0 m son más pequeñas, indicando un mayor confinamiento de la pluma estuarina en la capa más superficial. Conforme nos alejamos de la boca, la capa de agua salobre va disminuyendo de espesor y aumentando su clorinidad. Así, la pluma fluvial tiene en la estación 7M1 un espesor aproximado de 30 cm y una clorinidad promedio de 1.163‰, en 7M11 de 20 cm y 3.355‰, y en 7M9 de 10 cm y 3.510‰.

En la figura 4.7.6 se muestra un corte vertical del transecto 7M1-7M6. La pluma se traslada hacia las estaciones situadas en el norte-noreste, debido al efecto del viento. Los mayores gradientes de clorinidad se producen en el primer metro de la columna de agua para 7M1 y en los 30 cm superiores de 7M11 y 7M9, no existiendo gradientes tan bruscos en el resto de estaciones de este transecto. El cambio tan llamativo de clorinidad que se produce entre las estaciones 7M1 y 7M11 puede deberse en parte a las diferentes condiciones en el momento del muestreo ya que éstas son la primera y última estaciones muestreadas.

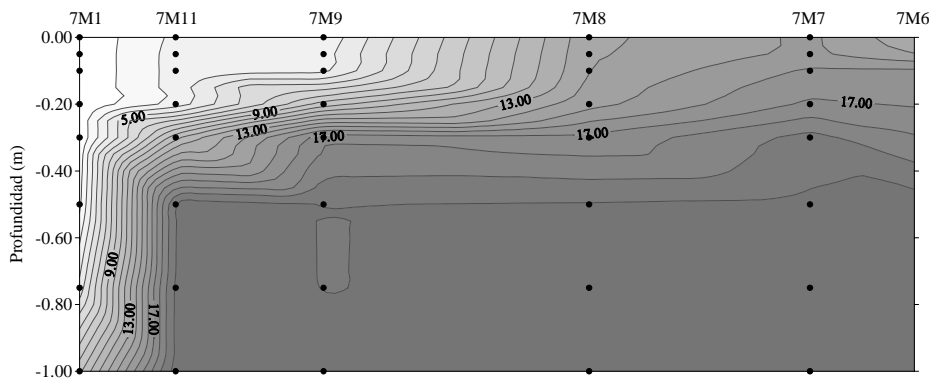


Figura 4.7.6. Perfil vertical de clorinidad (%) del transecto 7M1-7M6 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

En la figura 4.7.7 se representa la distribución superficial de la clorinidad (‰) para todas las estaciones de muestreo, observando claramente que la pluma se traslada en dirección norte-noreste arrastrada por el viento.

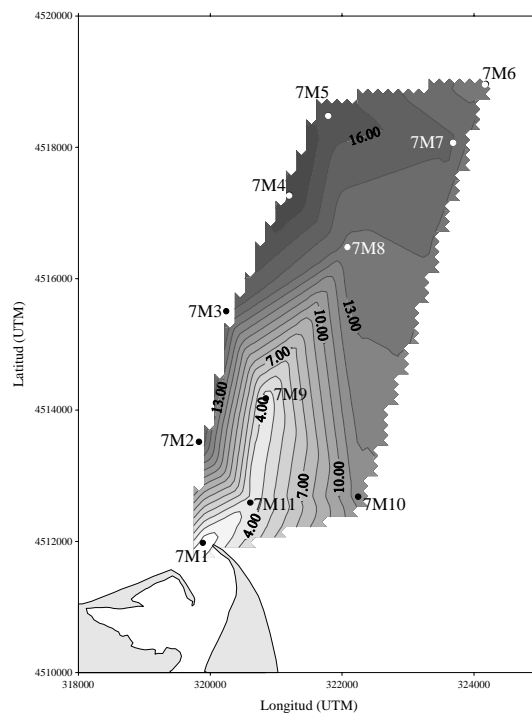


Figura 4.7.7. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a 0.00 m para las 11 estaciones del muestreo 7.

En la figura 4.7.8 se ha representado las distribuciones horizontales a todas las profundidades, donde las distribuciones a 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes.

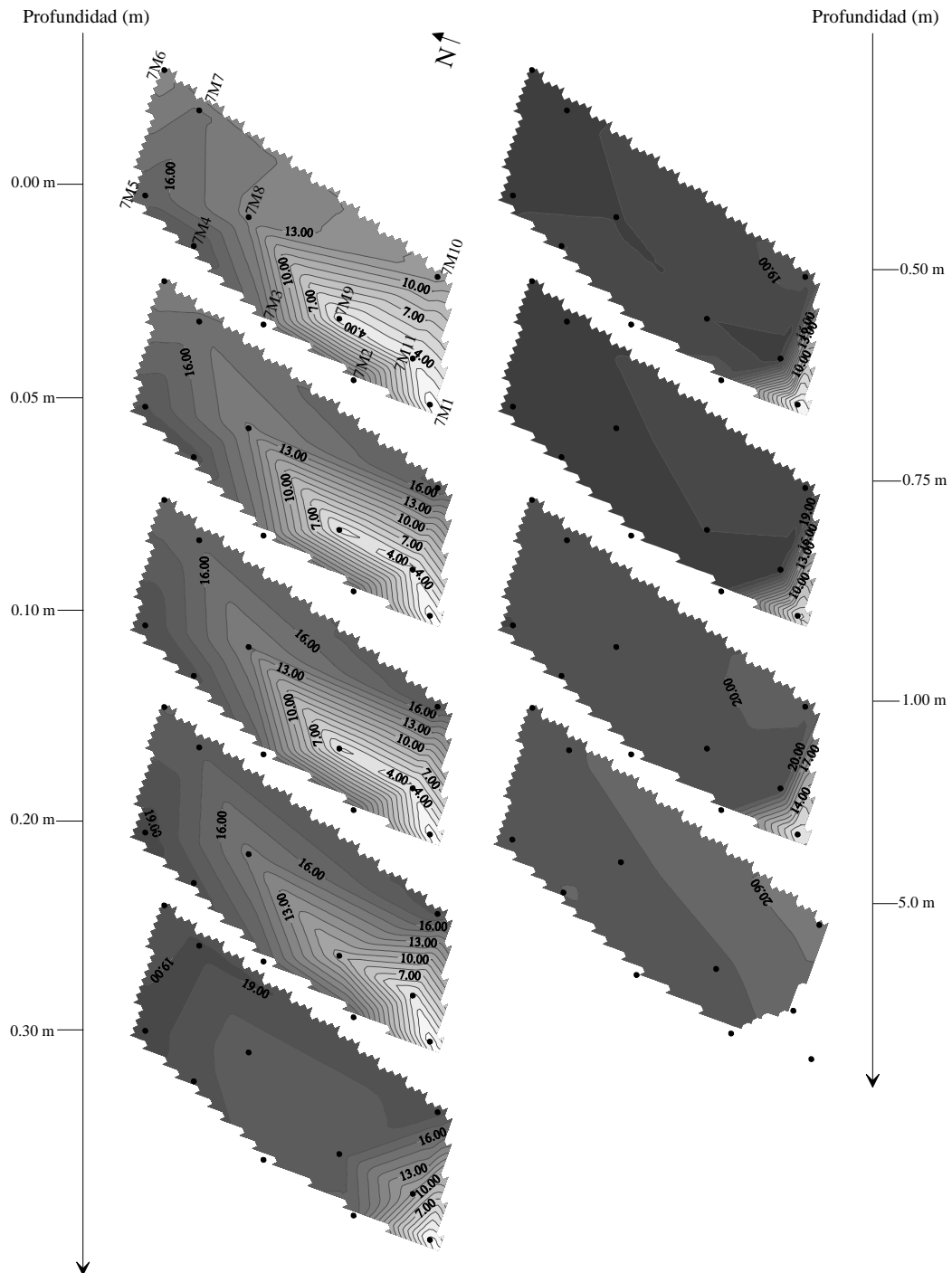


Figura 4.7.8. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 7. (Las distribuciones a las profundidades de 1.00 y 5.0 m poseen escalas diferentes).

Las distribuciones en los primeros 20 cm de profundidad son muy similares, observando un desplazamiento del agua dulce/salobre hacia el norte-noreste

debido al efecto del viento procedente del sur-suroeste. A partir de esta profundidad la influencia de los aportes continentales se va reduciendo drásticamente y las diferencias en la clorinidad entre las diferentes estaciones es menor, con lo que en estas distribuciones ya no llega a observarse dicho desplazamiento, sino tan solo una zona de menor salinidad en las proximidades de 7M1.

4.7.3.- Amonio

La concentración de este nutriente varía desde un máximo de 6.0 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 7M1 a la profundidad de 0.50 m, hasta un mínimo inferior a 0.1 $\mu\text{mol/L}$ en 7M6 a 0.50 y 0.75 m. En la tabla 4.7.2 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	6.0	-0.50	3.9	-1.00
7M9	4.8	0.00, -0.05	0.8	-1.00
7M11	4.4	0.00	0.4	-0.50
7M10	2.4	0.00	1.0	-0.20
7M6	2.6	0.00	<0.1	-0.50, -0.75
7M8	1.9	-0.10	0.1	-0.75
7M3	1.8	-0.05	0.1	-0.75
7M7	2.2	-0.10	0.3	-1.00, -5.0
7M2	2.1	0.00	0.3	-0.75, -5.0
7M5	1.5	-0.05, -0.20	0.3	-0.50, -0.75, -5.0
7M4	1.6	-0.05	0.4	-5.0

Tabla 4.7.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

Como se observa en esta tabla 4.7.2, los mayores valores se suelen encontrar en las capas más superficiales, con alguna excepción como 7M1 en la que hay que tener en cuenta que se halla al final de la capa de agua prácticamente dulce que yace sobre la marina y podría ser consecuencia de la amonificación de la materia orgánica senescente. En cambio los mínimos se localizan generalmente a mayores profundidades (excepto 7M10). Al contrario de lo que ocurre con otros muestreos,

en éste sí se aprecia una ligera pauta de disminución de las concentraciones de amonio al hacerlo la influencia continental, pues los mayores valores se localizan en las estaciones que poseían menor clorinidad superficial (7M1, 7M9 y 7M11).

En la figura 4.7.9 se representa la distribución superficial de este nutriente, observando una progresiva disminución de las concentraciones al alejarnos de la desembocadura del río Ebro y disminuir la influencia continental. Igual que se observaba en la clorinidad, se aprecia un desplazamiento de esta pluma fluvial en dirección norte por el efecto del viento.

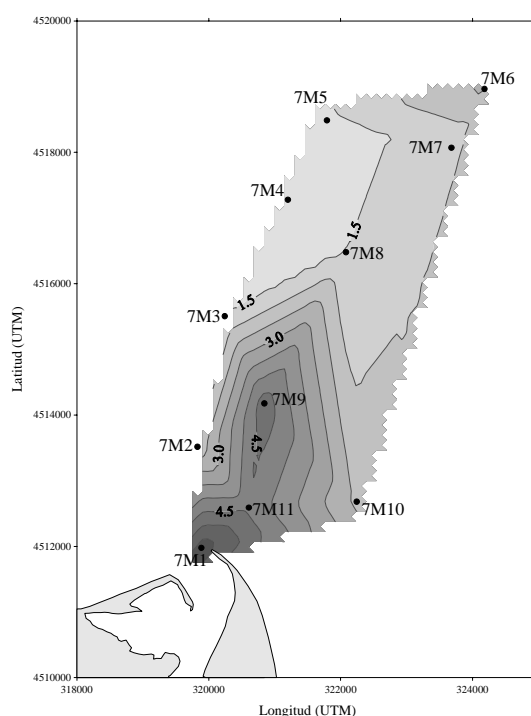


Figura 4.7.9. Distribución superficial de amonio ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 7.

En la figura 4.7.10 se muestra la distribución vertical obtenida en el transecto 7M1-7M6. En ésta, al contrario que en otros muestreos, podemos apreciar una ligera pauta de disminución de las concentraciones tanto al desplazarnos hacia las estaciones situadas más al norte como al disminuir la profundidad. Pero estas disminuciones no son graduales, encontrando diversas desviaciones. Una de ellas es el menor valor superficial obtenido en 7M11 respecto a 7M9 probablemente debido, como posteriormente veremos, a una mayor absorción fitoplanctónica y bacteriana en 7M11, de hecho hay en esta estación un mayor contenido en clorofila *a*. Otras desviaciones se producen en capas más profundas (7M9 a 0.75 m, 7M7 a 0.10 y 0.75 m), que pueden observarse con mayor detalle en la figura 4.7.11.

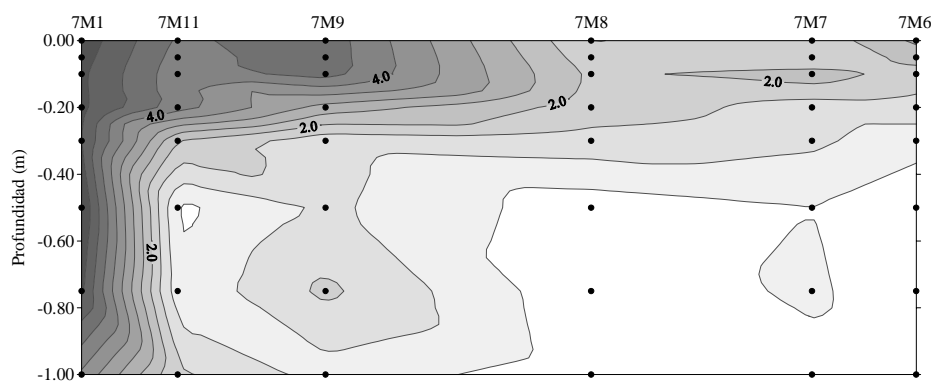


Figura 4.7.10. Distribución vertical de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 7M1-7M6.

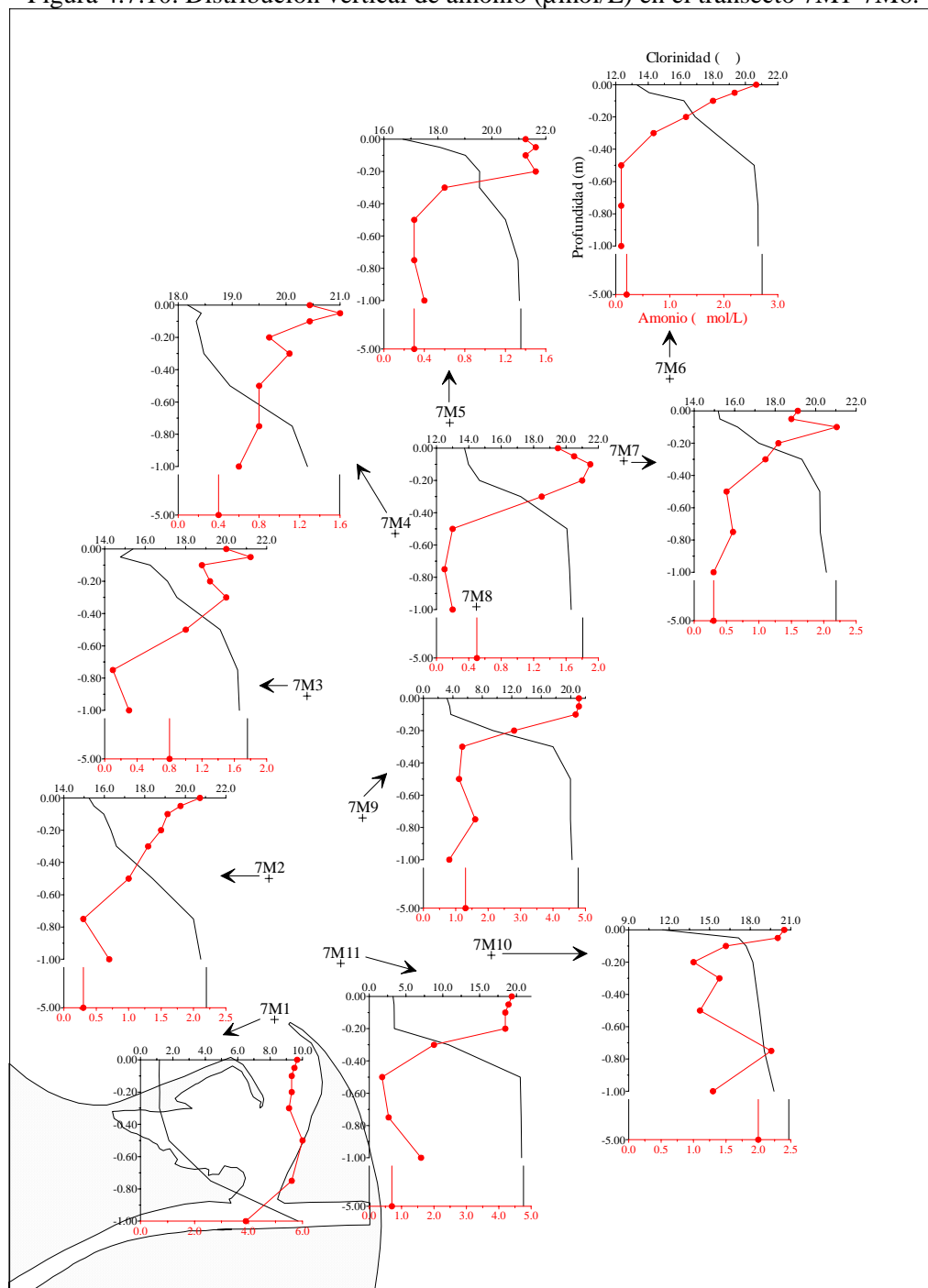


Figura 4.7.11. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 7.

En todas las estaciones, excepto en 7M10, la concentración a 5.0 m de profundidad es menor que la de 0.00 m. Pero aunque las concentraciones de amonio tienden a ir disminuyendo gradualmente al aumentar la profundidad, se observan desviaciones en algunas estaciones a diversas profundidades:

- Unas se producen en las capas más superficiales de 7M8 (0.00-0.10 m), 7M3 (0.00-0.30 m), 7M7 (0.00-0.10 m), 7M5 (0.00-0.20 m) y 7M4 (0.00-0.30 m).

- Otras tienen lugar en las capas más profundas, de las que la más relevante es la de 7M10.

- Por último se ha de resaltar la casi constancia en la concentración de amonio en las capas superficiales de las estaciones de mayor influencia fluvial (7M1, 7M9 y 7M11), constancia que también se encontraba en la clorinidad.

Por todo ello, y al contrario de lo que pudimos ver en muestreos anteriores, es de esperar que su comportamiento en el proceso de mezcla entre las aguas dulces/salobres y las más salinas tenga una pauta más clara. Así se aprecia en la figura 4.7.12, donde se representa el comportamiento en cada una de las estaciones. La concentración de amonio disminuye al aumentar la clorinidad en la mayoría de ellas. A primera vista parece que el comportamiento de este nutriente para este muestreo varía a lo largo de la columna de agua:

- En general puede observarse pérdidas en la mayoría de las estaciones hasta que se alcanza una clorinidad aproximada de 18‰ en unas (7M9, 7M10, 7M3, 7M5 y 7M4) y de 20‰ en otras (7M11, 7M2, 7M6, 7M8 y 7M7). Éstas parecen achacables a la predominancia de procesos como la absorción planctónica y bacteriana y a la nitrificación.

- En cambio, a mayores clorinidades se encuentran ganancias probablemente debidas, como ya ocurría en muestreos anteriores, a la predominancia de las exudaciones fitoplanctónicas, la amonificación y a la actividad de la comunidad de zooplancton, que con su movimiento hacia las capas más profundas libera amonio con sus excreciones.

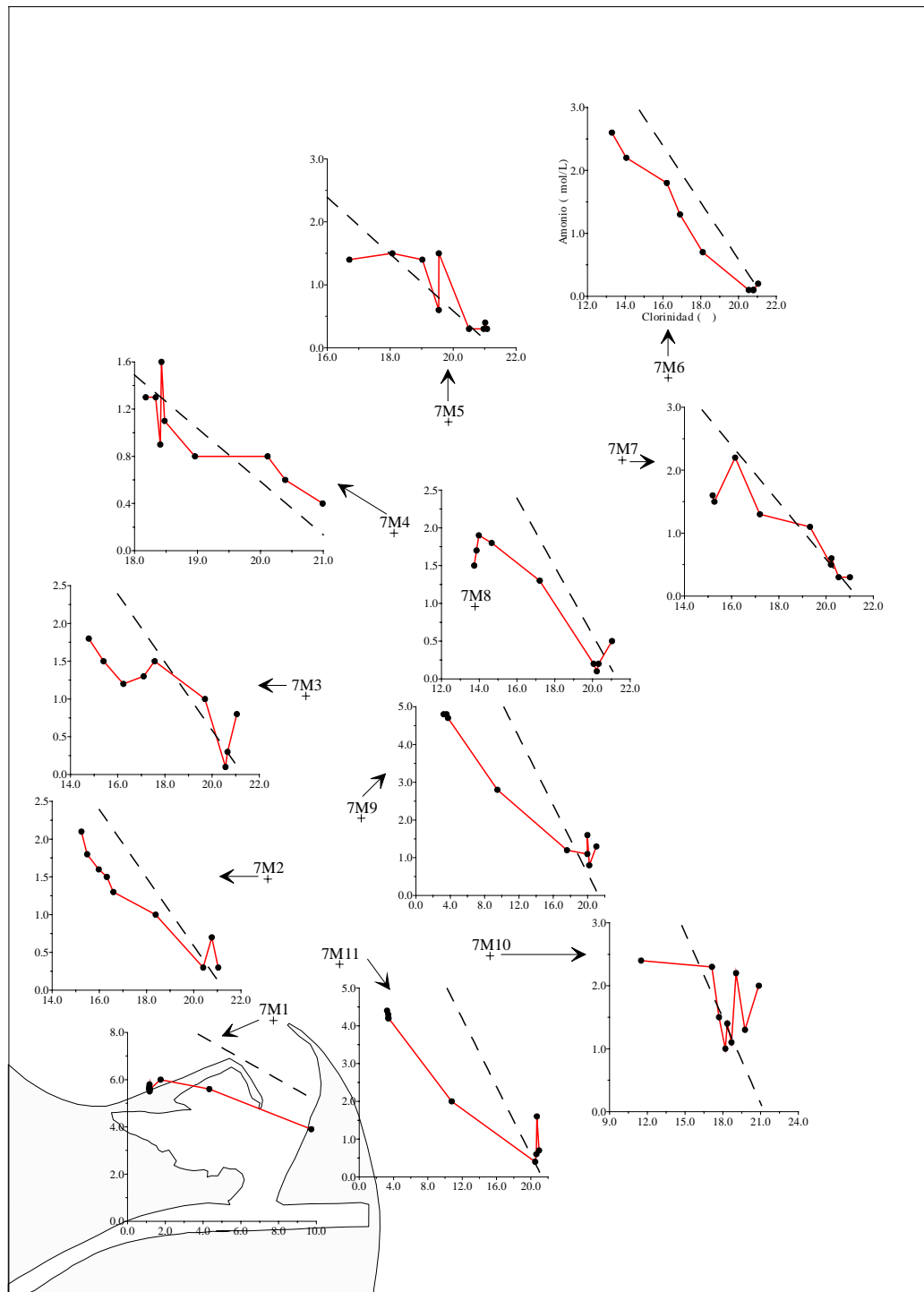


Figura 4.7.12. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

En la figura 4.7.13 se muestra el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina, donde se aprecia que hasta una clorinidad aproximada de 18‰ el comportamiento general es siempre de pérdidas, achacadas a la alta absorción por las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas y a la nitrificación. A mayores clorinidades se pueden encontrar tanto pérdidas como ganancias, estas últimas

probablemente debidas, como ya se ha comentado anteriormente, a las exudaciones fitoplanctónicas, la amonificación y a la actividad heterotrófica.

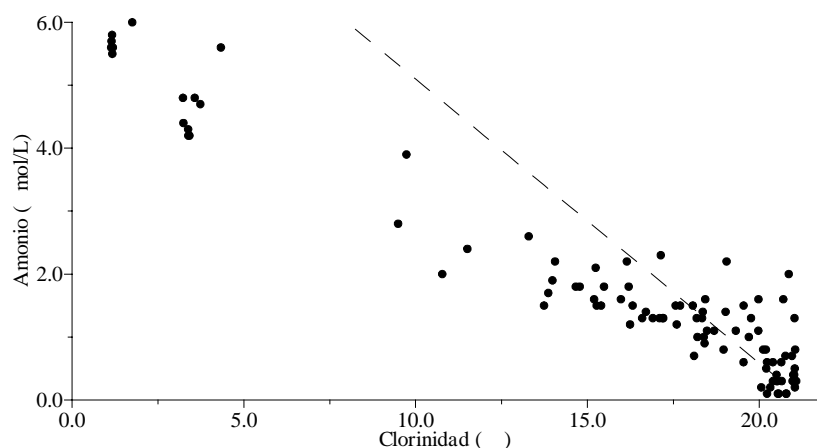


Figura 4.7.13. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.4.- Nitrato

La concentración de este nutriente varía desde un máximo de 178.7 $\mu\text{mol/L}$ localizado a 0.30 m en la estación 7M1 hasta un mínimo de 1.3 $\mu\text{mol/L}$ en 7M5 a 5.0 m de profundidad. En la tabla 4.7.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	178.7	-0.30	113.5	-1.00
7M9	161.6	-0.05	1.4	-5.0
7M11	166.1	0.00	1.9	-5.0
7M10	82.9	0.00	1.8	-5.0
7M6	65.7	0.00	1.6	-5.0
7M8	69.8	-0.20	2.1	-5.0
7M3	65.1	-0.05	1.8	-5.0
7M7	61.7	0.00	2.4	-5.0
7M2	62.0	0.00	2.0	-5.0
7M5	48.0	0.00	1.3	-5.0
7M4	31.7	0.00	2.6	-5.0

Tabla 4.7.3. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrato en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

En esta tabla 4.7.3 se observa la gran influencia de los aportes fluviales sobre este nutriente, pues las mayores concentraciones se localizan en las

estaciones de menor salinidad (7M1, 7M9 y 7M11) y además en todas las estaciones (con alguna excepción como 7M1 y 7M8) las mayores concentraciones se encuentran en superficie y las menores a las mayores profundidades. Esto mismo se aprecia en la figura 4.7.14 donde se representa la distribución superficial de este nutriente y en la figura 4.7.15 donde se muestra la distribución vertical en el transecto 7M1-7M6. La pluma estuarina se traslada en dirección norte-noreste por las razones ya apuntadas anteriormente. Las mayores concentraciones se localizan en la estación más cercana a la boca del río Ebro (7M1), disminuyendo éstas conforme nos alejamos de la desembocadura (hacia 7M6). Estas concentraciones también van disminuyendo gradualmente al aumentar la profundidad en todas las estaciones, pero con diversas variaciones en algunas de ellas en las capas más superficiales.

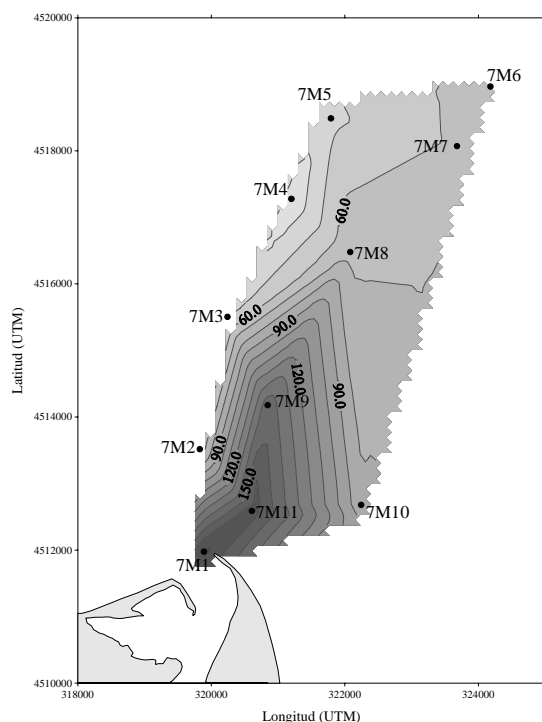


Figura 4.7.14. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 7.

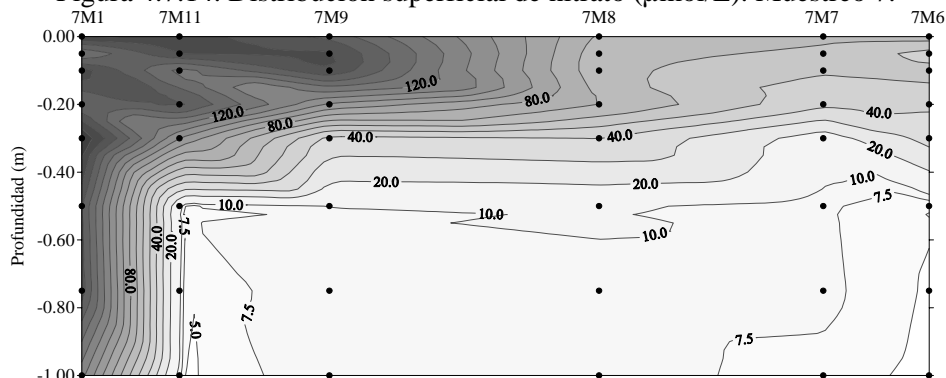


Figura 4.7.15. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 7M1-7M6.

Estas desviaciones de la pauta general de disminución con la profundidad se aprecian con más detalle en la figura 4.7.16.

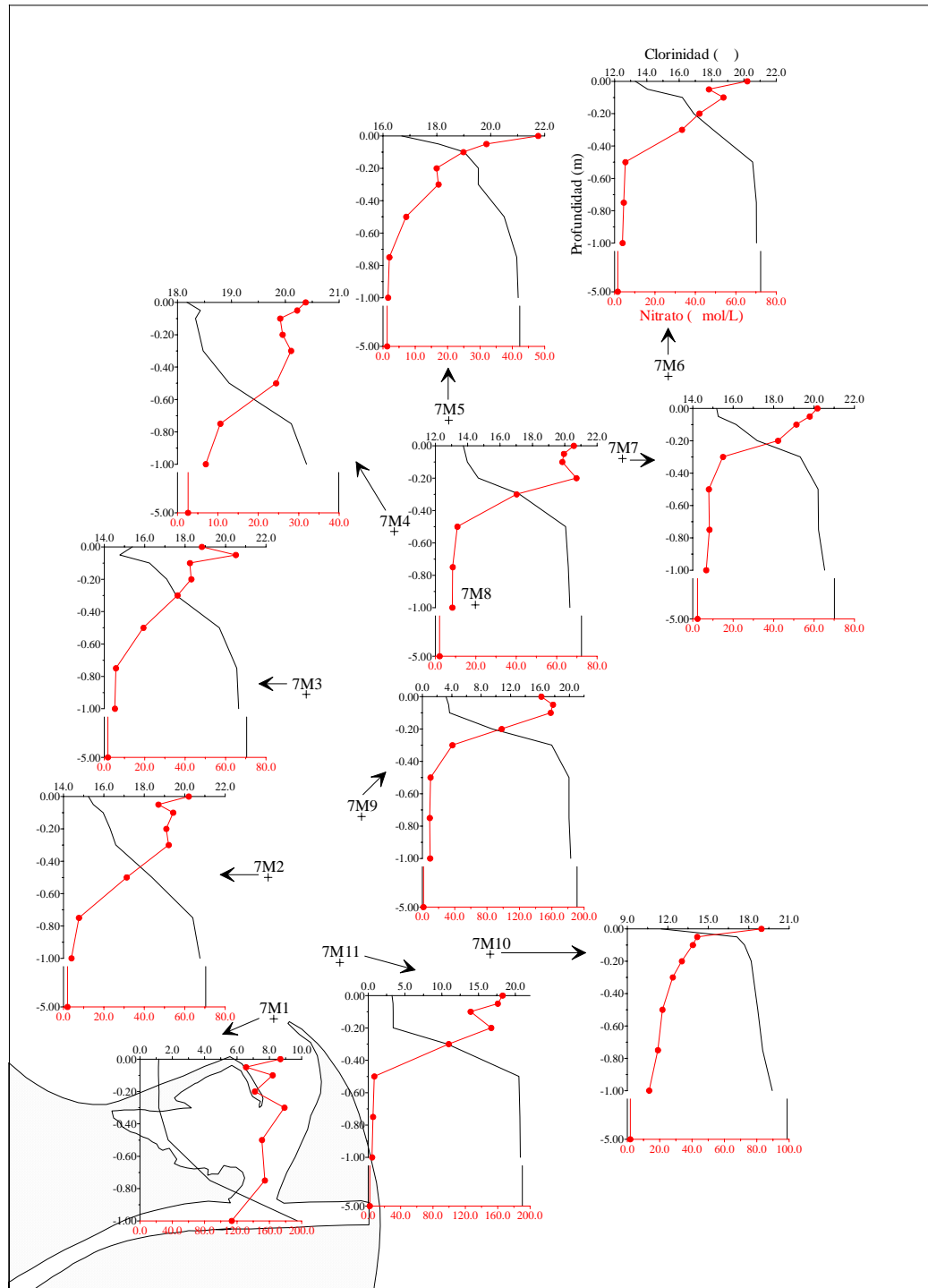


Figura 4.7.16. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 7.

Como ya se ha comentado anteriormente, el nitrato tiende a disminuir al aumentar la profundidad en todas las estaciones. Pero en algunas de ellas encontramos diversas variaciones de esta pauta en las capas más superficiales

(hasta 20-30 cm). Solamente en tres estaciones esta pauta general de disminución con la profundidad se cumple a lo largo de toda la columna (7M10, 7M7, y 7M5).

En la figura 4.7.17 se muestra el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones.

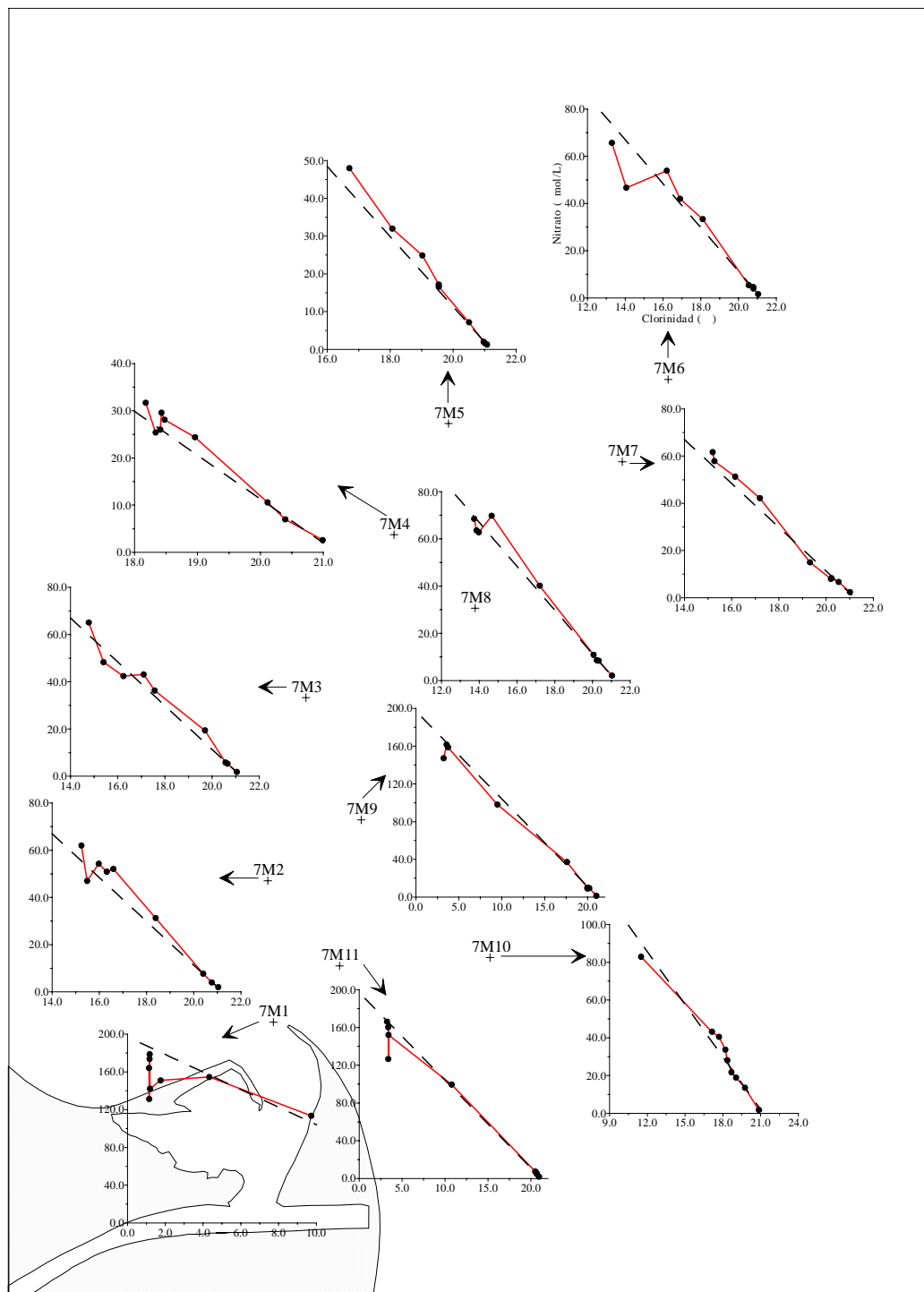


Figura 4.7.17. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

En todas ellas, y como era de esperar, la concentración disminuye al aumentar la clorinidad. En la mayoría de las estaciones el nitrato se comporta de manera bastante conservativa aunque con ligeras ganancias, probablemente debidas a la nitrificación. Las concentraciones de nitrato disminuyen en las capas de menor clorinidad de todas las estaciones (excepto 7M10, 7M7, y 7M5) debido a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica.

El comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina se representa en la figura 4.7.18, donde queda patente el comportamiento aproximadamente conservativo del nitrato, si acaso con muy ligeras ganancias debidas a la nitrificación. Además se aprecian pérdidas en las capas de menor clorinidad que pueden achacarse a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica.

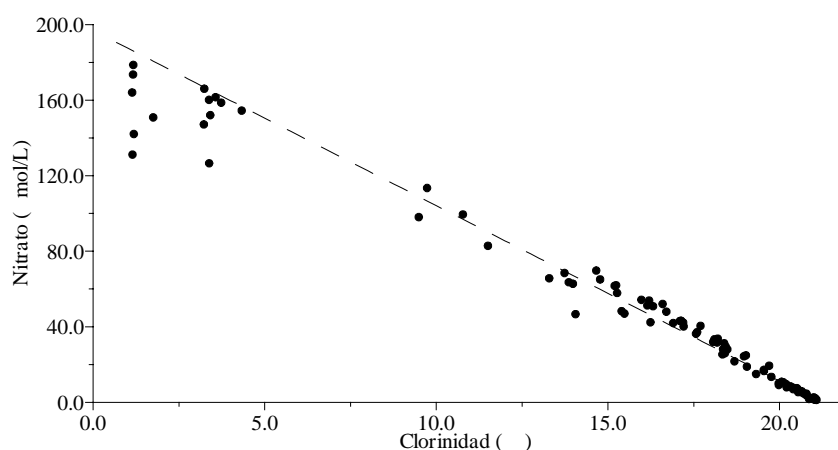


Figura 4.7.19. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.5.- Nitrito

En este muestreo el valor máximo de la concentración es de $3.25 \mu\text{mol/L}$ en la estación 7M1 a 0.30 m de profundidad, mientras que el mínimo es $0.24 \mu\text{mol/L}$ y se localiza en 7M8 a 5.0 m. En la tabla 4.7.4 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones. Las mayores concentraciones se encuentran, como era de esperar, en las estaciones de menor salinidad (7M1, 7M9 y 7M11). Éstas disminuyen conforme las aguas se vuelven más salinas, pero sin llegar a valores cercanos al agotamiento. Los máximos se encuentran generalmente en superficie y los mínimos a las mayores profundidades, con algunas excepciones que posteriormente detallaremos.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	3.25	-0.30	1.62	-1.00
7M9	2.83	-0.10	0.38	-5.0
7M11	3.05	0.00	0.29	-5.0
7M10	1.65	0.00	0.48	-5.0
7M6	1.53	0.00	0.27	-5.0
7M8	1.06	-0.10	0.24	-5.0
7M3	0.98	-0.05	0.29	-0.75
7M7	0.98	-0.10	0.29	-5.0
7M2	0.93	0.00	0.43	-0.75, -1.00, -5.0
7M5	0.88	0.00	0.25	-0.75
7M4	0.66	0.00	0.34	-5.0

Tabla 4.7.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

En la figura 4.7.19 se ha representado la distribución superficial, donde se observa claramente el esperado desplazamiento de la pluma estuarina en dirección norte-noreste por el efecto del viento.

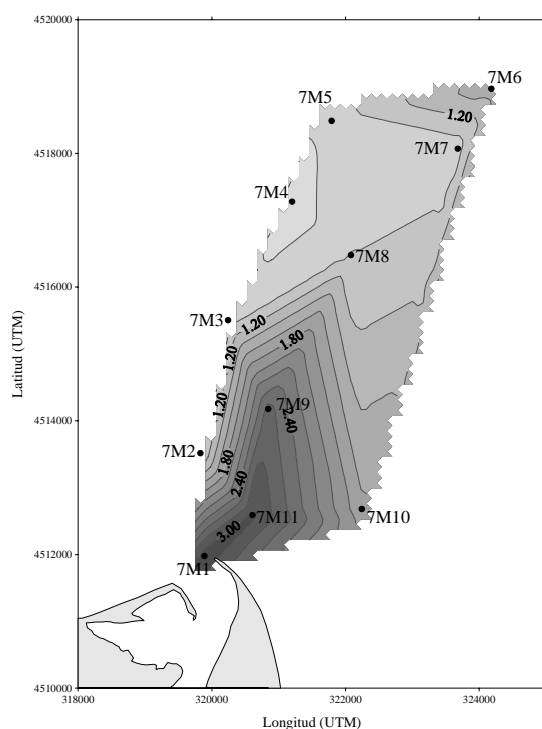


Figura 4.7.19. Distribución superficial de nitrito ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 7.

En la figura 4.7.20 se muestra la distribución vertical para el transecto 7M1-7M6, donde vemos que la concentración de nitrito va disminuyendo al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad.

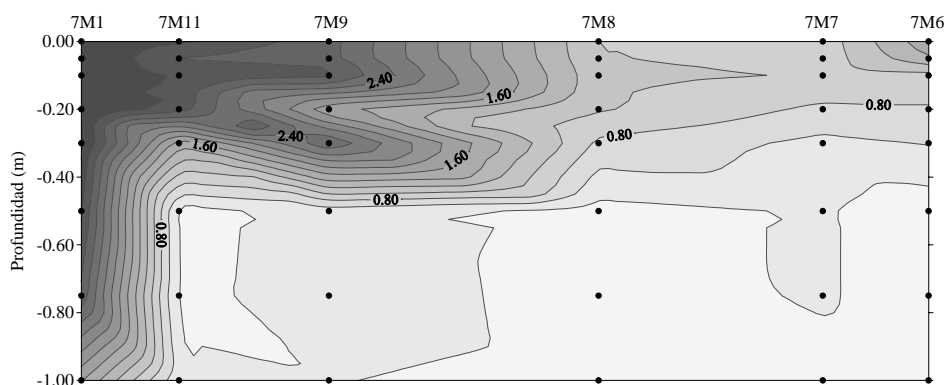


Figura 4.7.20. Distribución vertical de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 7M1-7M6.

Pero en esta figura 4.7.20 se aprecian diversas desviaciones de esta pauta de disminución en alguna estación, como por ejemplo 7M9. Ésta y otras desviaciones se observan con más detalle en la figura 4.7.21, donde se ha representado los perfiles verticales en cada una de las estaciones. Estos perfiles de nitrito son aproximadamente una “imagen especular” de los de la clorinidad, pues incluso la bajada que se producía en la clorinidad en la estación 7M3 a 0.05 m tiene su imagen en un aumento en el nitrito. Lo mismo ocurre en otras estaciones, por ejemplo en 7M1, 7M9 y 7M11 los valores constantes en la clorinidad tienen su reflejo en una constancia en las concentraciones de nitrito. De todas maneras existe una excepción, en la estación 7M9 se encuentra un aumento a 0.30 m de profundidad que puede ser achacado a algún proceso de exudación autótrofa y/o a la nitrificación de amonio. Parece que en esta zona baja de la interfase haya una activa nitrificación que también ha tenido un reflejo, aunque claramente inferior, en el comportamiento del nitrato en la mezcla.

A la vista de estos perfiles, es de esperar que el comportamiento de este nutriente en el proceso de mezcla sea bastante conservativo. Así se observa en la figura 4.7.22, donde se representa este comportamiento para cada una de las estaciones. Aunque las concentraciones de nitrito disminuyen gradualmente al aumentar la clorinidad, éstas no alcanzan ni mucho menos valores cercanos al agotamiento. El nitrito se comporta de manera bastante conservativa en todas las estaciones, ya que los procesos que harían disminuir su concentración se ven

compensados por aquellos que la aumentarían. Solamente en la estación 7M9 se observa un aumento no esperado de la concentración que podría deberse, como anteriormente comentamos, a un proceso de exudación autótrofa y/o a la nitrificación de amonio. De todas maneras, y como ocurre con el amonio, también tiende a haber ligeras ganancias en las capas más salinas de la mayoría de estaciones.

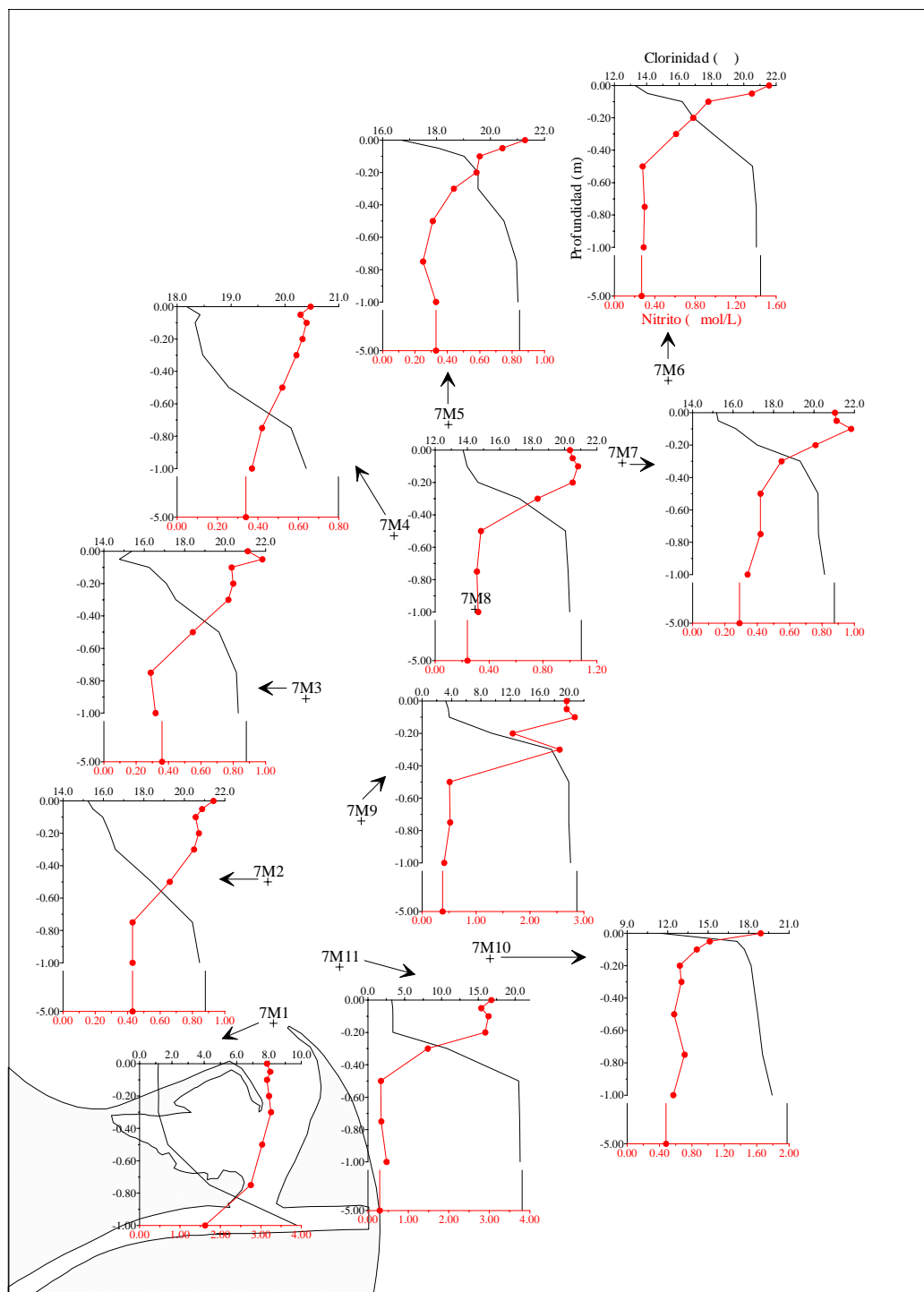


Figura 4.7.21. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 7.

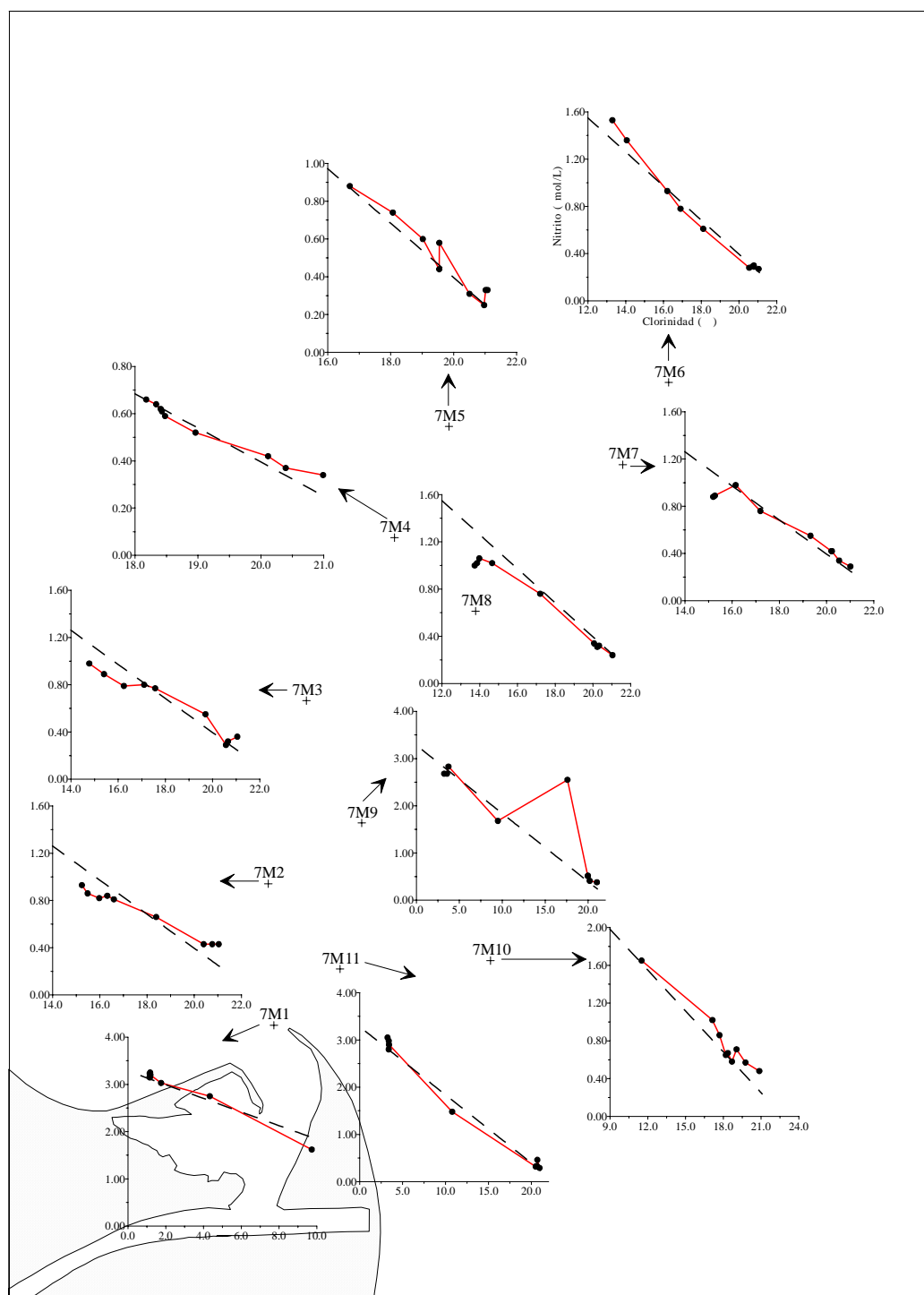


Figura 4.7.22. Comportamiento del nitrito en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

En la figura 4.7.23, donde se representa el comportamiento global del nitrito en la pluma estuarina, se observa que el nitrito se comporta de manera bastante conservativa, con muy ligeras pérdidas en la zona de clorinidad intermedia (de 9 a 16‰), que serían achacables a la absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación.

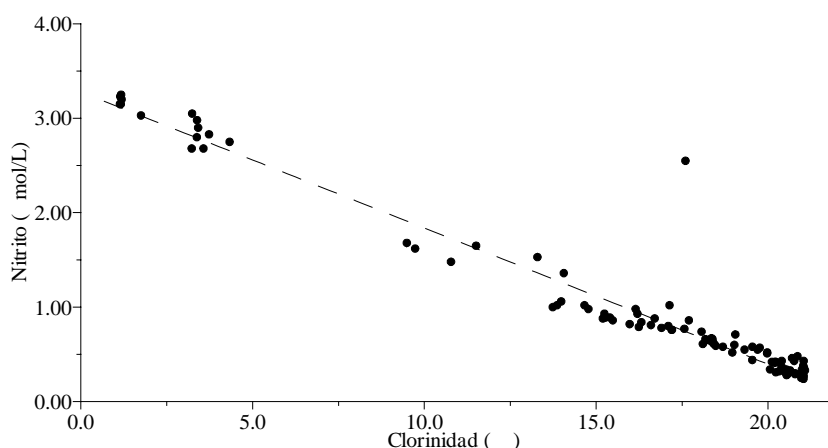


Figura 4.7.23. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.6.- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

El hecho de que las concentraciones de nitrato sean bastante mayores que las de amonio y nitrito, provoca que las de NID tengan un rango de variación similar al primero. La concentración máxima es de 187.5 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 7M1 a 0.30 m de profundidad, mientras que el mínimo es de 1.9 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en 7M5 a 5.0 m. En la tabla 4.7.5 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	NID ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	187.5	-0.30	119.0	-1.00
7M9	169.1	-0.05	3.1	-5.0
7M11	173.6	0.00	2.9	-5.0
7M10	87.0	0.00	4.3	-5.0
7M6	69.8	0.00	2.1	-5.0
7M8	72.6	-0.20	2.8	-5.0
7M3	67.9	-0.05	3.0	-5.0
7M7	64.2	0.00	3.0	-5.0
7M2	65.0	0.00	2.7	-5.0
7M5	50.3	0.00	1.9	-5.0
7M4	33.7	0.00	3.3	-5.0

Tabla 4.7.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

Al igual que ocurre con el nitrato, y por las razones ya apuntadas, las mayores concentraciones de NID se localizan en las estaciones de mayor

influencia fluvial (7M1, 7M9 y 7M11), siendo menores en el resto. En cada una de las estaciones éstas van disminuyendo al aumentar la profundidad, encontrándose las mínimas a las mayores profundidades. Así queda patente en la figura 4.7.24, donde se representa los perfiles encontrados en cada una de ellas. Estos perfiles son idénticos a los del nitrato en todas las estaciones, con lo que las explicaciones dadas en su momento son válidas también para el NID.

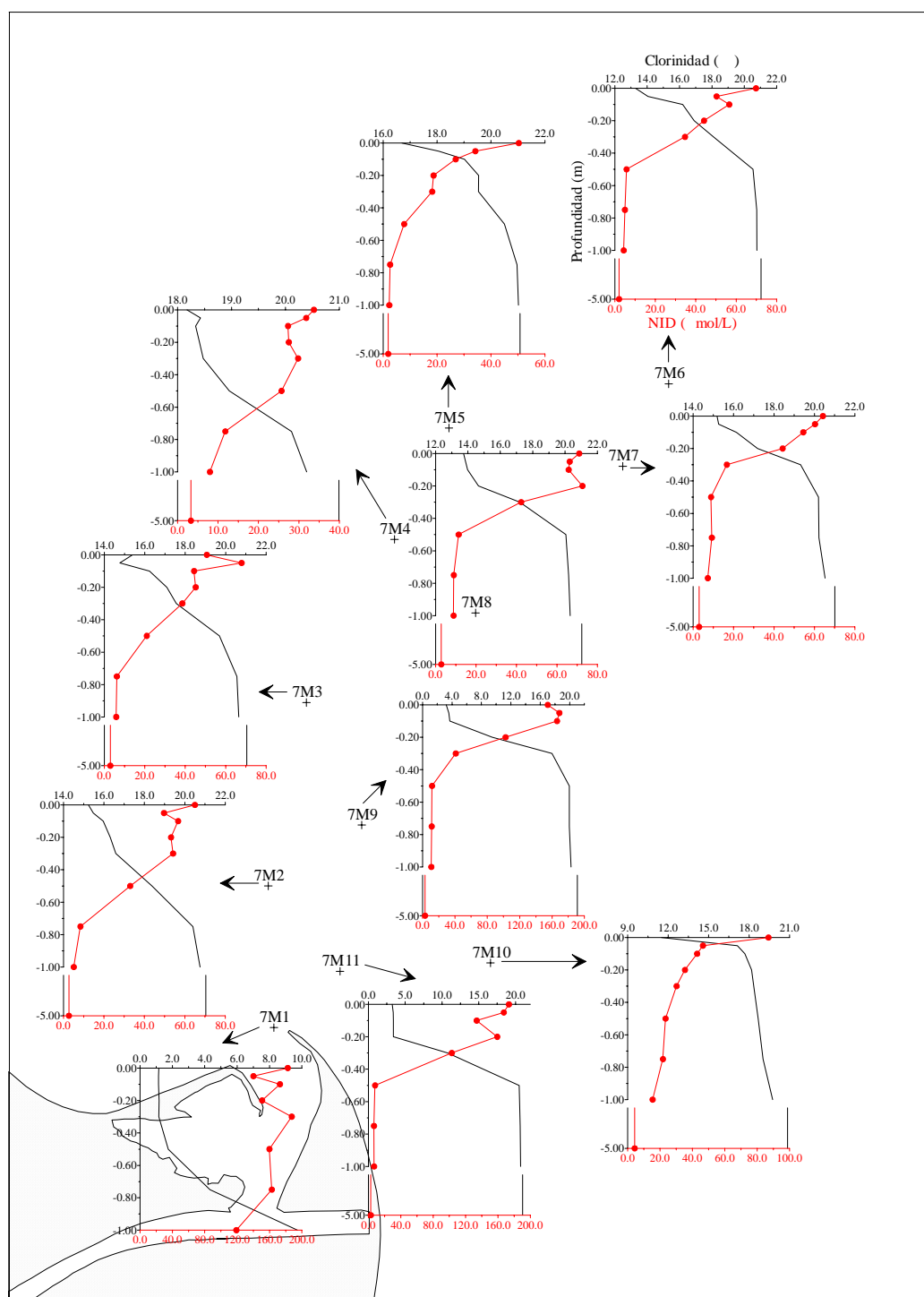


Figura 4.7.24. Perfiles verticales de NID. Muestreo 7.

En la figura 4.7.25 se muestra el comportamiento del NID en cada una de las estaciones.

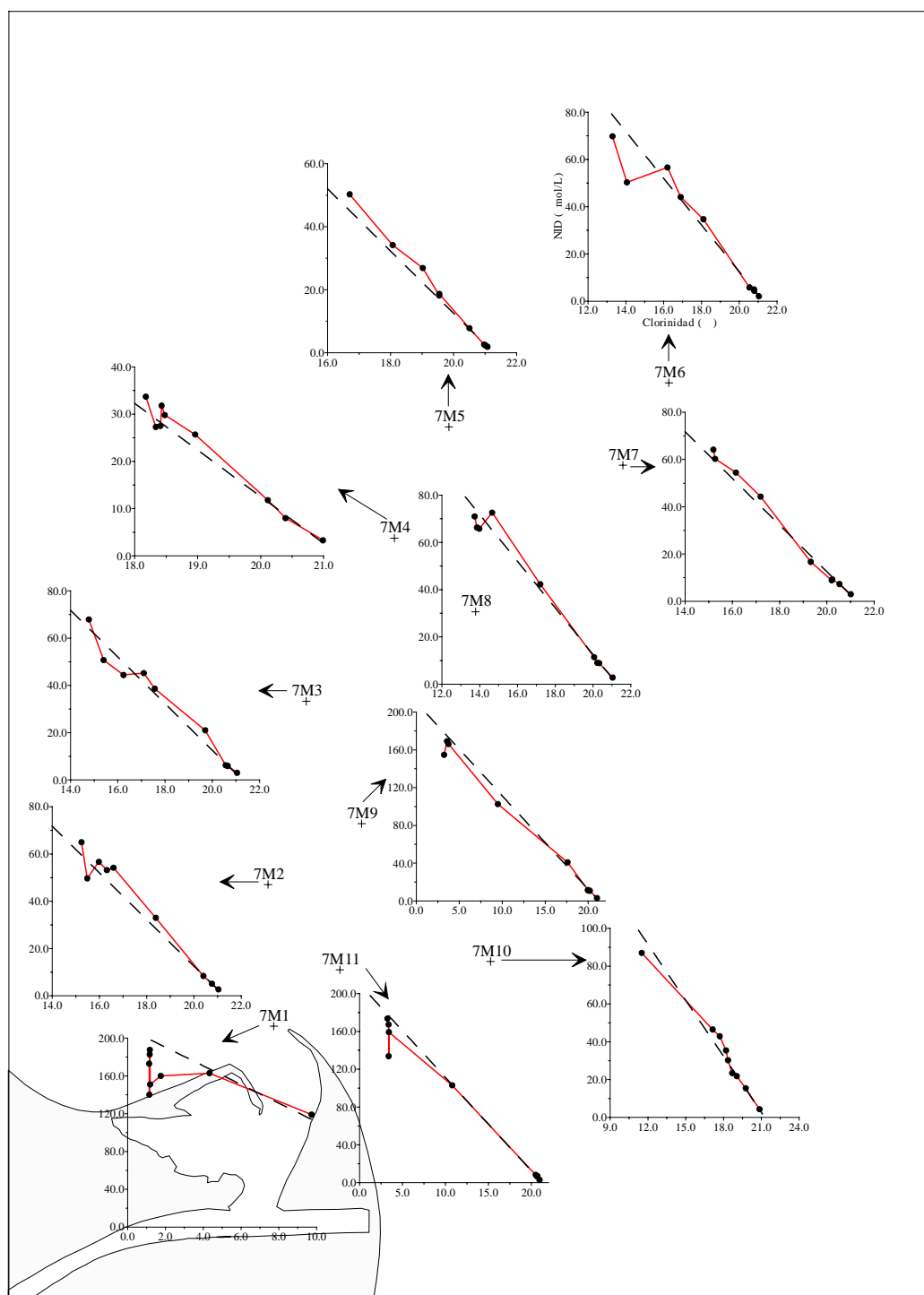


Figura 4.7.25. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

En todas ellas la concentración de NID disminuye con la clorinidad. Igual que ocurría para el nitrato, en la mayoría de las estaciones el NID se comporta de manera aproximadamente conservativa aunque con muy ligeras ganancias, probablemente debidas a la amonificación, excreción heterótrofa y/o exudación

autótrofa. En las capas de menor clorinidad de todas las estaciones (excepto 7M10, 7M7 y 7M5) las concentraciones de NID disminuyen debido a la absorción por parte de la comunidad planctónica.

En la figura 4.7.26 se representa el comportamiento global del NID en la pluma estuarina, donde se observa un comportamiento bastante conservativo en todo el rango de clorinidad, si acaso con ligeras ganancias debidas a la amonificación, excreción heterótrofa y/o exudación autótrofa. Además se aprecian ligeras pérdidas en las capas de menor clorinidad que pueden achacarse, como ya comentamos anteriormente, a la absorción por parte de la comunidad planctónica.

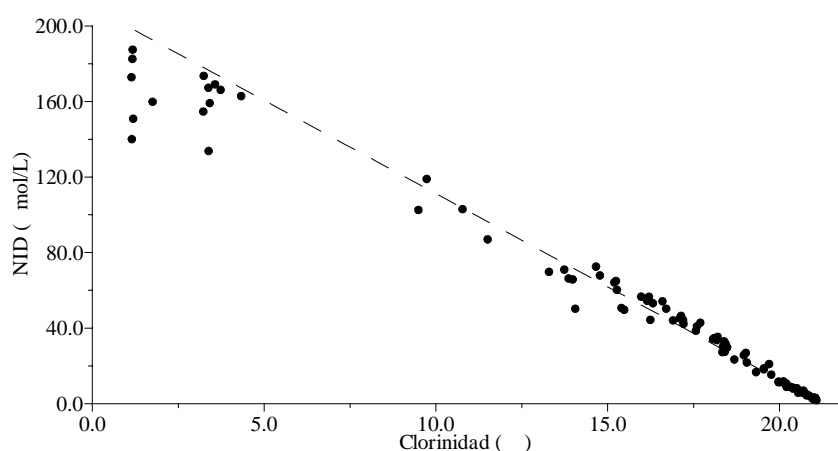


Figura 4.7.26. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

En la tabla 4.7.6 se muestra los datos de fósforo que han sido desechados al no cumplirse que la concentración de PSR sea menor o igual que la de PDT y ésta menor o igual que la de PT.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)
7M1-1.00	1.32	1.76	<u>1.27</u>
7M3-0.00	0.50	<u>0.45</u>	0.74
7M4-0.10	0.18	0.25	<u>0.18</u>
7M9-0.00	1.17	2.43	<u>1.40</u>
7M9-0.05	1.18	2.27	<u>1.88</u>
7M9-0.20	1.30	1.55	<u>1.35</u>
7M11-0.20	1.53	1.90	<u>1.44</u>

Tabla 4.7.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 7.

La concentración de PSR varía desde un máximo de 1.98 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 7M1 a 0.50 m, hasta unos mínimos inferiores a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en todas las estaciones (excepto 7M1) a diversas profundidades. En la tabla 4.7.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	1.98	-0.50	1.08	-0.20
7M9	1.35	-0.10	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M11	1.53	-0.20	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M10	1.00	0.00	<0.03	-1.00, -5.0
7M6	0.77	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M8	0.71	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -5.0
7M3	0.58	-0.05	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M7	0.56	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M2	0.57	-0.10	<0.03	-1.00, -5.0
7M5	0.21	0.00	<0.03	-0.20, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M4	0.27	-0.05	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0

Tabla 4.7.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

Los resultados obtenidos para el PSR en este muestreo dejan de nuevo patente la importancia de las descargas de origen fluvial, obteniéndose las mayores concentraciones en las estaciones de mayor influencia continental (7M1, 7M9 y 7M11), y disminuyendo conforme lo hace ésta. En cada una de las estaciones los máximos suelen localizarse en superficie (excepto en un par de estaciones, 7M1 y 7M11) y los mínimos a las mayores profundidades (excepto en 7M1), incluso llegando a valores cercanos al agotamiento en todas ellas.

La distribución horizontal a 0.00 m se representa en la figura 4.7.27, donde observamos que, al igual que ocurre para otros nutrientes, los mayores valores se localizan en las cercanías de la desembocadura, disminuyendo estas concentraciones conforme nos alejamos de la boca del río Ebro.

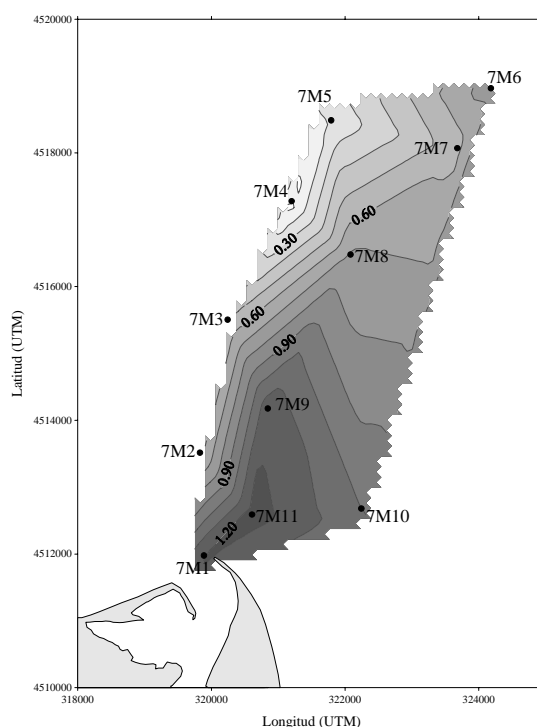


Figura 4.7.27. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 7.

En la figura 4.7.28 se representa un corte vertical del transecto 7M1-7M6, donde se observa la esperada disminución de la concentración al alejarnos de la desembocadura (hacia la estación 7M6) y al aumentar la profundidad.

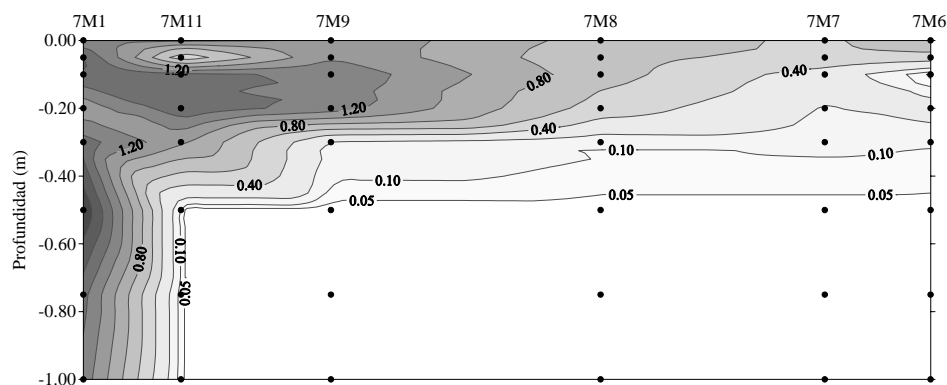


Figura 4.7.28. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el del transecto 7M1-7M6.

Aunque la pauta general es de disminución de la concentración al aumentar la profundidad, en esta figura 4.7.28 se aprecian diversas desviaciones en algunas de las estaciones (7M1, 7M11, 7M9 y 7M6). Éstas, y algunas otras, se observan con mayor precisión en la figura 4.7.29, donde se representa los perfiles obtenidos en cada una de las estaciones. En todas ellas las concentraciones de PSR van disminuyendo gradualmente al aumentar la profundidad, hasta llegar a valores cercanos al agotamiento a profundidades relativamente pequeñas (0.50 m), excepto en 7M1.

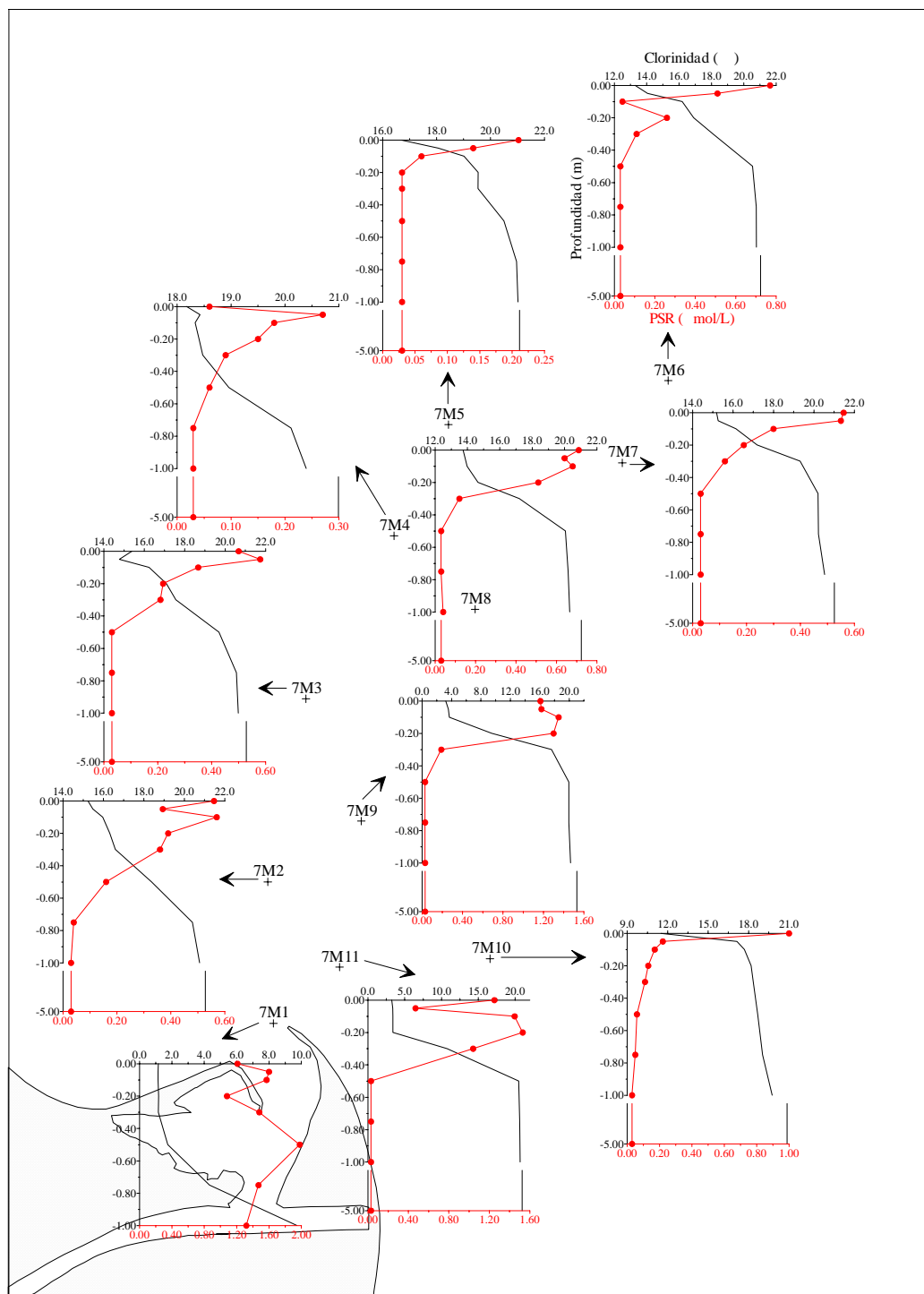


Figura 4.7.29. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 7.

En la mayoría de estaciones (excepto en 7M10, 7M7 y 7M5) se observan diversas variaciones que en general se producen en los 20 cm superiores de la capa de agua, y que cabe achacar a una alta actividad biológica. Caso aparte merece la estación de mayor influencia continental, 7M1, donde se aprecian desviaciones en toda la columna de agua, pues incluso la concentración a 0.00 m es menor que a 1.00 m, aunque las diferencias no son importantes. Algo similar

ocurre en 7M11. La causa de estas variaciones en 7M1 probablemente sea la gran actividad biológica, unida al movimiento de las comunidades planctónicas y al shock salino. El bajo rango de salinidades en la capa más superficial de estas dos estaciones hace casi imposible discernir los efectos del shock salino de los cambios generados por un mayor o menor crecimiento de la comunidad planctónica.

El comportamiento del PSR en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones se representa en la figura 4.7.30. En todas ellas, y como era de esperar, las concentraciones de PSR disminuyen al aumentar la clorinidad. Pero se ha de resaltar que, al igual que ocurría con otros nutrientes en anteriores muestreos, la línea de mezcla ideal de origen fluvial (línea negra) no parece ser una buena elección. Hemos de recordar que ésta se calculó tomando un promedio de las muestras más dulces de la estación R1 obtenidas durante la campaña de febrero de 2000 (3 y 5 de febrero), siendo de $0.68 \mu\text{mol/L}$. Así, a la vista de la línea obtenida, parece que las condiciones, y sobre todo los aportes fluviales, han cambiado desde nuestro día de muestreo hasta el 3 de febrero. Por todo ello, y para poder explicar correctamente el comportamiento de este nutriente, hemos de escoger otro extremo dulce de la línea de mezcla ideal. Debido a la dispersión obtenida en las muestras más dulces de 7M1, no se puede escoger un promedio de éstas como se hizo en otros muestreos. Por lo tanto se ha optado por elegir como extremo dulce la muestra de 7M1 (estación de mayor influencia fluvial) en la que se ha obtenido una mayor concentración de PSR, obteniendo la línea de mezcla ideal representada en esta figura 4.7.30 (línea azul).

Con esta nueva línea de mezcla se aprecia que en todas las estaciones se producen pérdidas generalizadas en toda la columna de agua, que cabe achacar a una alta absorción planctónica llegando a consumir casi completamente el PSR en la mayoría de las estaciones (excepto en 7M1). Estas pérdidas son más llamativas en las capas profundas que en las superficiales, lo que nos lleva a pensar en un mayor crecimiento en estas capas más salinas. En alguna estación (7M6, 7M2 y 7M4) cabe reseñar pequeños aumentos de concentración que no son sino disminuciones acusadas de las muestras de clorinidad menor.

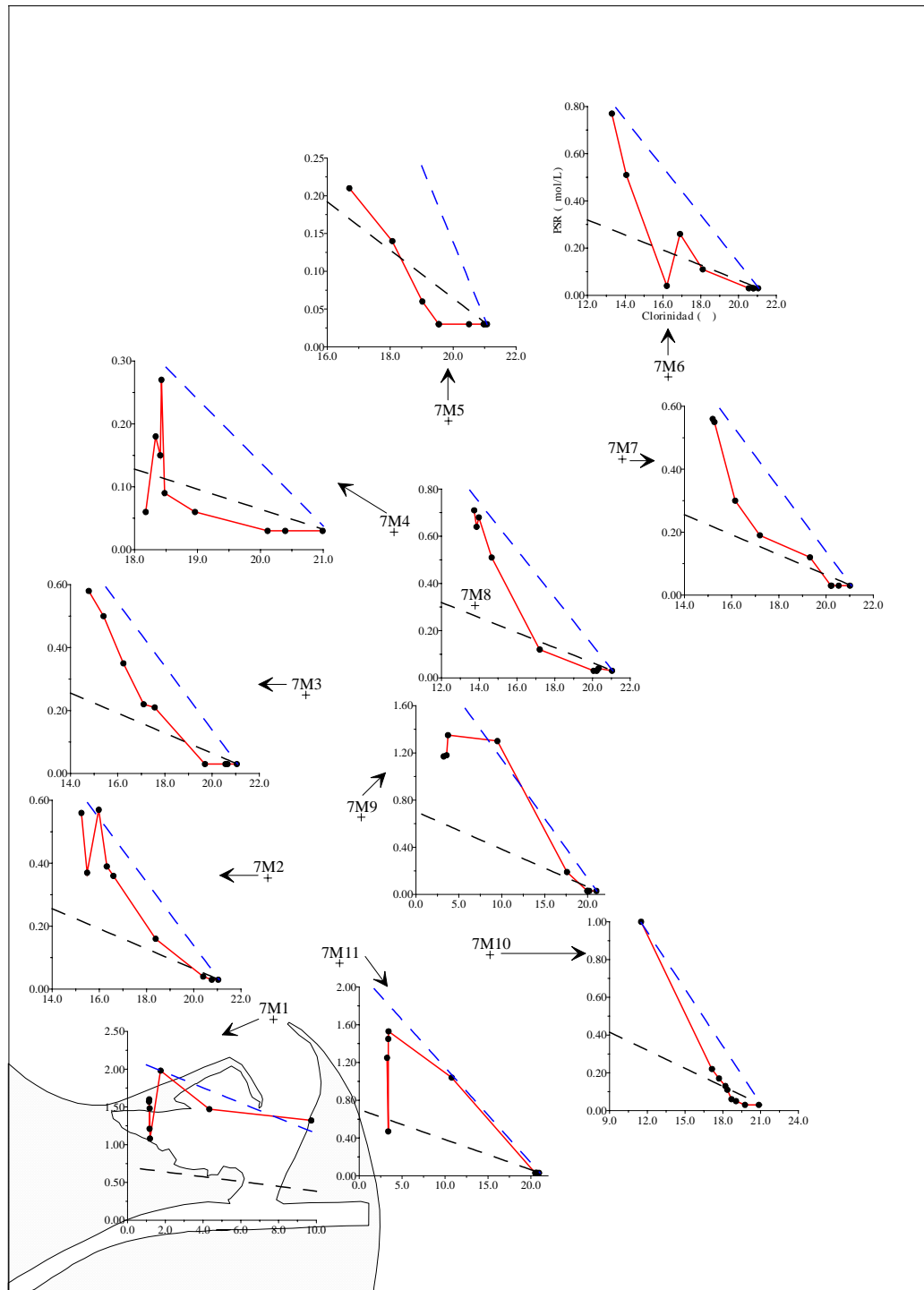


Figura 4.7.30. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

El comportamiento global del PSR en el proceso de mezcla se muestra en la figura 4.7.31. Teniendo en cuenta la línea de mezcla ideal obtenida utilizando como extremo dulce la muestra de mayor concentración de 7M1, se observa una pérdida generalizada en toda la pluma estuarina. Estas pérdidas se dan sobre todo en las zonas extremas de clorinidad, en la más dulce (hasta 5‰) y en la más salina (a partir de 13‰), debido a que el consumo y asimilación del fosfato por parte de

los diversos organismos planctónicos predomina sobre otro tipo de procesos que aumentarían su concentración. Sin embargo en la zona intermedia (entre 5 y 13‰) el sistema parece estar acoplado y la mineralización se compensa con la absorción.

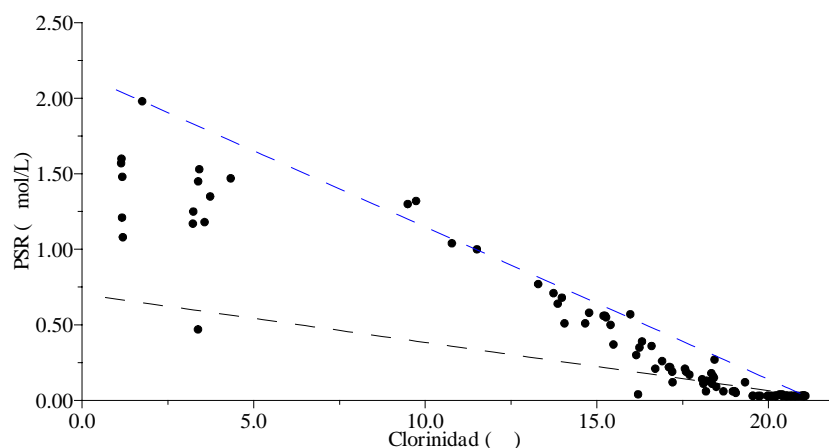


Figura 4.7.31. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

La concentración de fósforo disuelto total (PDT) varía desde un máximo de 2.43 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 7M9 a 0.00 m de profundidad hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en todas las estaciones (excepto en 7M1) a diversas profundidades. En la tabla 4.7.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	2.24	-0.10	1.47	0.00
7M9	2.43	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -5.0
7M11	2.14	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M10	1.40	0.00	<0.03	-1.00, -5.0
7M6	0.81	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
7M8	0.97	-0.10	<0.03	-0.50, -0.75, -5.0
7M3	0.65	-0.10	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
7M7	0.75	-0.05	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
7M2	0.89	-0.05	<0.03	-1.00, -5.0
7M5	0.59	0.00	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
7M4	0.28	-0.05	<0.03	-5.0

Tabla 4.7.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

Como era de esperar, las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia fluvial (7M1, 7M9 y 7M11), disminuyendo al hacerlo ésta. En cada una de las estaciones los mayores valores se suelen encontrar en las capas más superficiales, mientras que los mínimos se localizan a las mayores profundidades, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento a profundidades relativamente pequeñas (50 cm).

La distribución superficial de PDT se representa en la figura 4.7.32. Aunque, como era de esperar, las mayores concentraciones se localizan en las cercanías de la desembocadura y van disminuyendo al alejarnos de ésta, el máximo no se alcanza en 7M1 (estación de mayor influencia fluvial) sino en 7M9. Esto puede deberse a una disminución mayor de lo esperado en 7M1 por una gran actividad biológica, como posteriormente veremos.

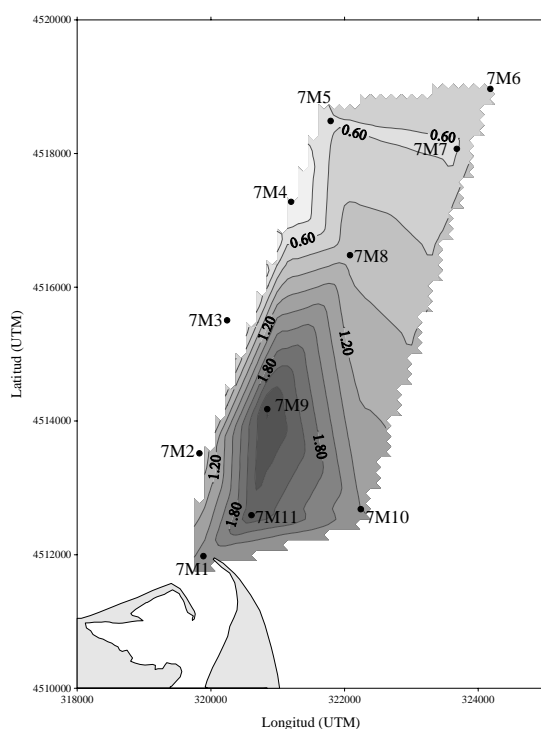


Figura 4.7.32. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 7.

En la figura 4.7.33 se muestra un corte vertical del transecto 7M1-7M6. Las concentraciones disminuyen al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad. Pero aunque la pauta general sea de disminuir las concentraciones al aumentar la profundidad, se localizan desviaciones en algunas estaciones (7M1, 7M11 y 7M8). Éstas y otras desviaciones se observan con más detalle en la figura 4.7.34, donde se representa los perfiles en cada una de las estaciones.

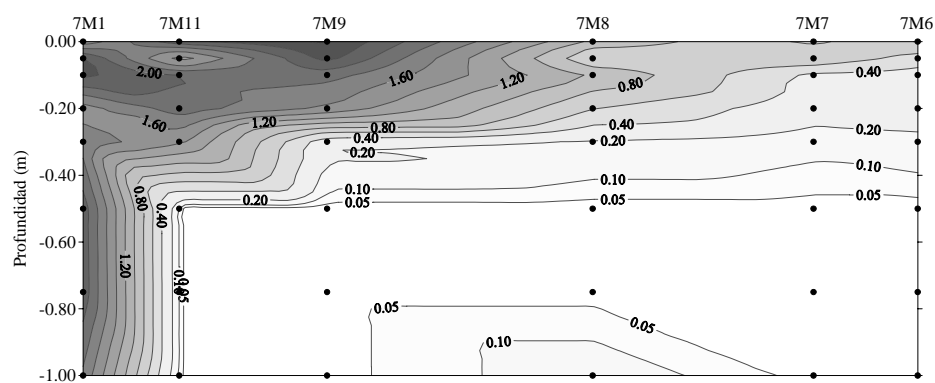


Figura 4.7.33. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 7M1-7M6.

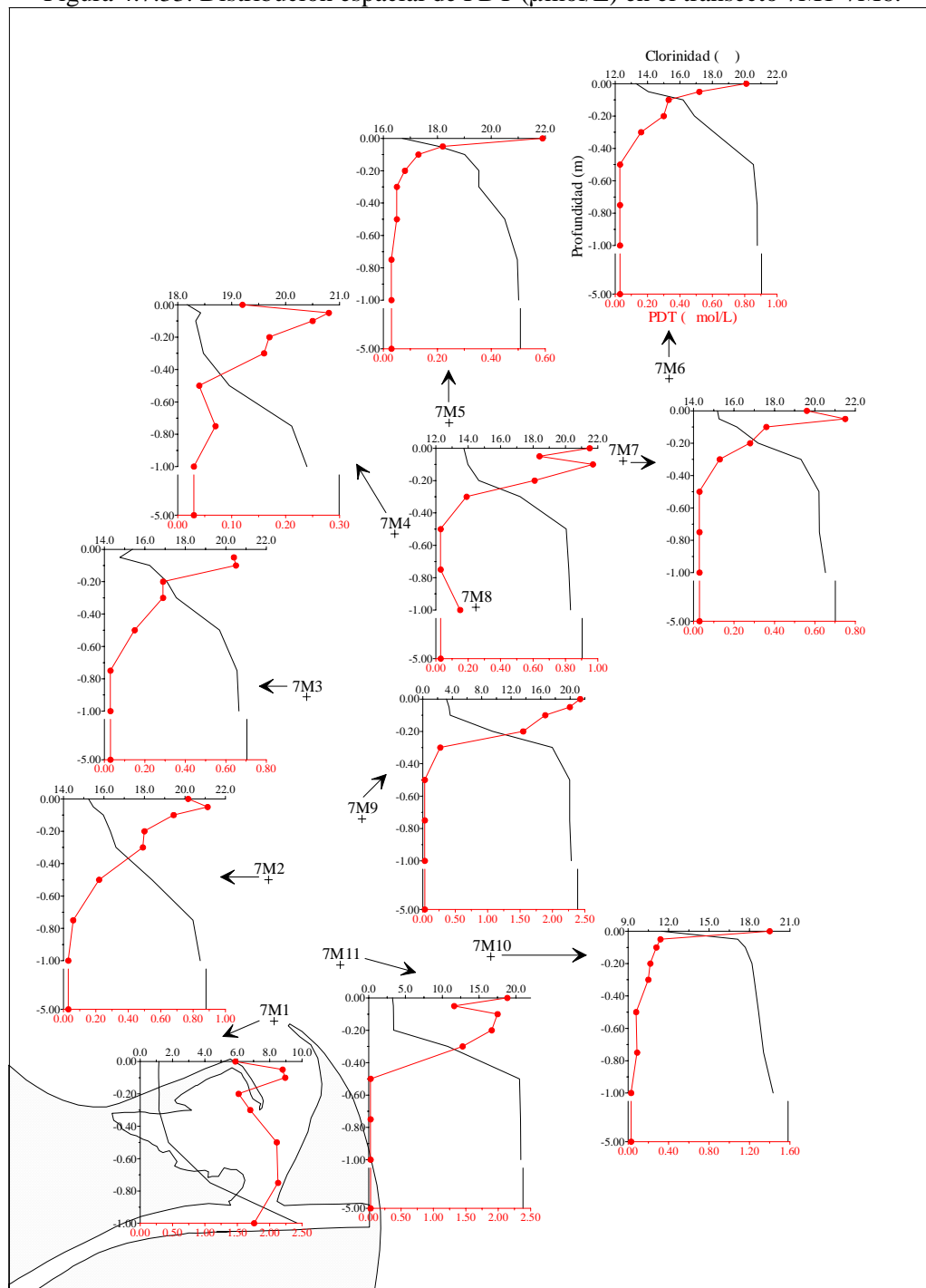


Figura 4.7.34. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 7.

Las concentraciones de PDT disminuyen gradualmente al aumentar la profundidad en todas las estaciones (excepto en 7M1), llegando a valores cercanos al agotamiento a profundidades mayores de 0.50-0.75 m. Solamente en las estaciones 7M9, 7M10, 7M6, 7M3 y 7M5 estas disminuciones son graduales y sin ningún tipo de desviaciones. En cambio, en 7M11, 7M8, 7M7, 7M2 y 7M4 se producen desviaciones en las capas más superficiales (hasta 10 cm de profundidad aproximadamente), en 7M8 y 7M4 también a mayor profundidad (1.00 y 0.75 m respectivamente) y en 7M1 en toda la columna de agua.

La mayoría de estos perfiles de PDT coinciden aproximadamente con los correspondientes de PSR (figura 4.7.29), excepto en las estaciones 7M9 y 7M2, por lo que puede decirse que estas desviaciones de la pauta general de disminución del PDT al aumentar la profundidad son debidas más a variaciones en las concentraciones de PSR que a las de POD. En cambio, las desviaciones que tienen lugar en estas dos estaciones (7M9 y 7M2) serían más achacables a cambios en las formas orgánicas disueltas.

En la figura 4.7.35 se muestra el comportamiento del PDT en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones, donde se observa que las concentraciones de PDT disminuyen gradualmente al aumentar la clorinidad. Igual que ocurría con el PSR (figura 4.7.30) la línea de mezcla ideal de origen fluvial no parece ser una muy buena elección, por lo que se ha optado por calcular una nueva (línea azul) a partir del mayor valor de PDT de la estación de mayor influencia fluvial (7M1). Se observa pérdidas en todas las estaciones (excepto 7M1) en las zonas de mayor clorinidad, achacables a una predominancia de la absorción planctónica sobre otros procesos que aumentarían su concentración. Sin embargo, en las capas de menor clorinidad de la mayoría de estaciones se observan aumentos de concentración que podrían deberse a la predominancia de las excreciones de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas sobre la absorción planctónica, absorción que también tiene lugar como ya se mostró en el apartado del PSR. Caso aparte merece la estación 7M1, donde se invierte esta pauta, encontrando pérdidas a menor clorinidad y ganancias a mayor clorinidad.

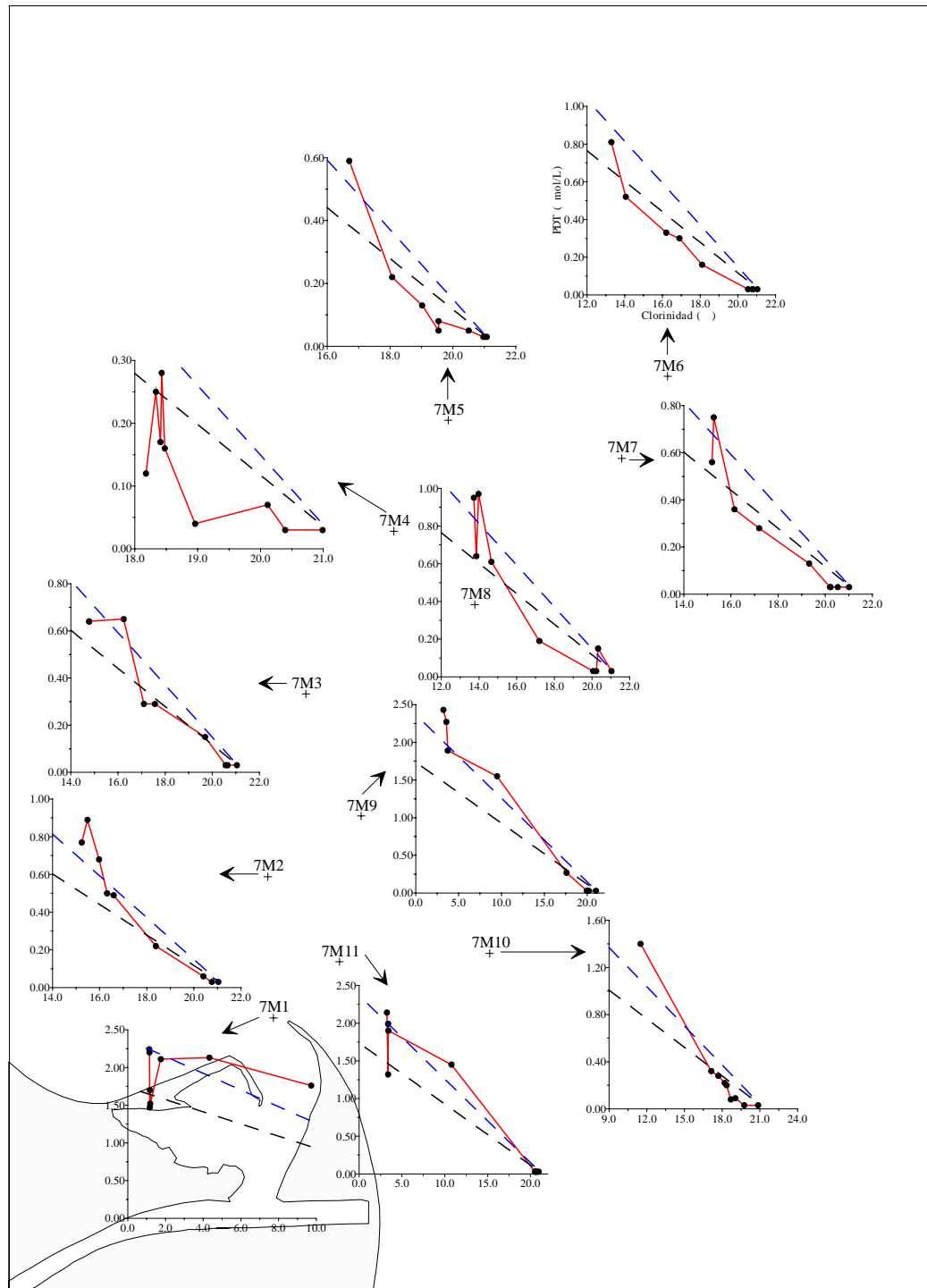


Figura 4.7.35. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

En la figura 4.7.36 se representa el comportamiento global del PDT en la pluma estuarina, donde se observa que hasta una clorinidad aproximada de 17‰ predominan tanto las pérdidas como las ganancias. A mayores clorinidades se producen claras pérdidas debidas a la predominancia de la absorción planctónica sobre otros procesos que aumentarían su concentración.

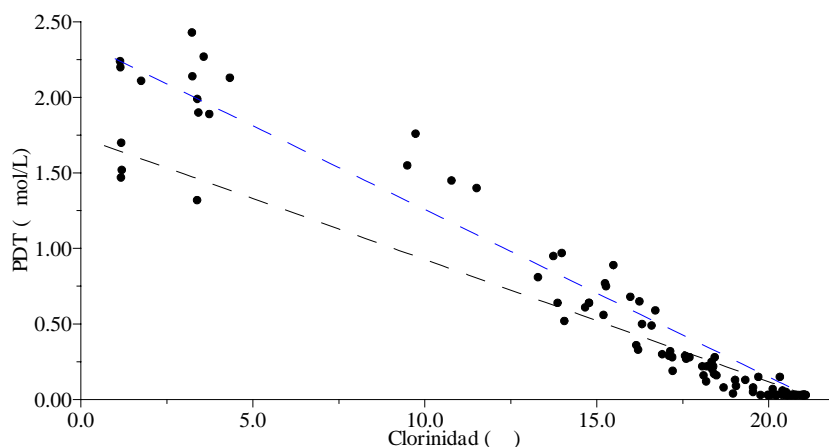


Figura 4.7.36. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.9.- Fósforo Total (PT)

La concentración de PT varía en este muestreo desde un máximo de 2.75 $\mu\text{mol/L}$ localizado en 7M1 a 0.20 m de profundidad, hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en todas las estaciones (excepto en 7M1) a diversas profundidades. En la tabla 4.7.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	2.75	-0.20	2.16	-0.30
7M9	2.18	-0.10	<0.03	-0.50, -0.75, -5.0
7M11	2.38	0.00	<0.03	-1.00, -5.0
7M10	1.41	0.00	<0.03	-5.0
7M6	1.06	0.00	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
7M8	1.19	-0.10	<0.03	-5.0
7M3	1.07	-0.05	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
7M7	0.93	0.00	<0.03	-5.0
7M2	0.93	-0.05	<0.03	-1.00
7M5	0.80	0.00	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
7M4	0.29	-0.20	<0.03	-5.0

Tabla 4.7.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

Como era de esperar, las mayores concentraciones de PT se encuentran en las estaciones de mayor influencia continental (7M1, 7M9 y 7M11), disminuyendo éstas conforme nos alejamos de la desembocadura y disminuye esta

influencia. En cada una de las estaciones las mayores concentraciones se encuentran en las capas superficiales y las menores en las mayores profundidades, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento en todas ellas (excepto en 7M1).

En la figura 4.7.37 se ha representado la distribución superficial obtenida para este muestreo. La inexistencia de la concentración en 7M9 (ver tabla 4.7.6), provoca que no llegue a apreciarse del todo el desplazamiento de la pluma fluvial hacia el norte-noreste, aunque se observa que las aguas de mayor concentración se encuentran cercanas a la boca, disminuyendo al hacerlo la influencia fluvial.

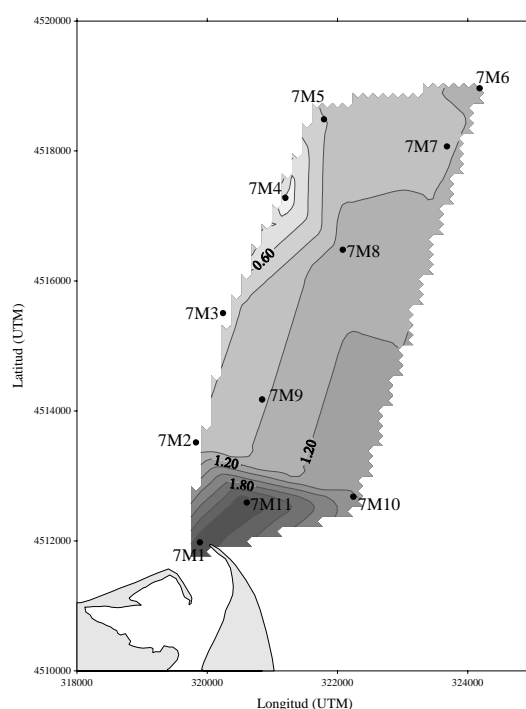


Figura 4.7.37. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 7.

En la figura 4.7.38 se representa la distribución vertical obtenida en el transecto 7M1-7M6.

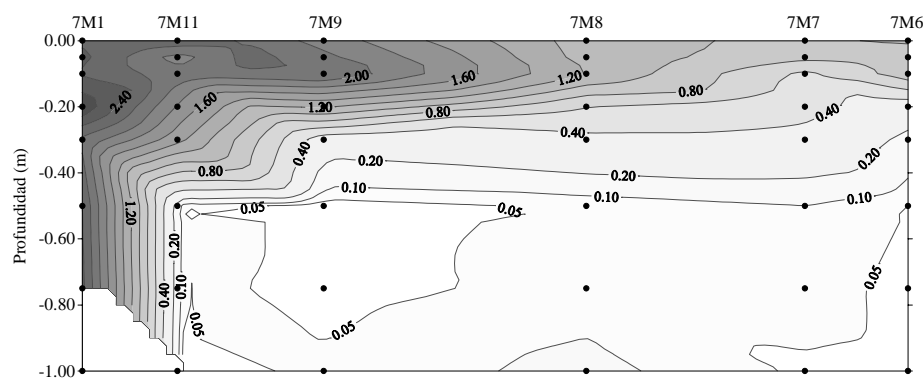


Figura 4.7.38. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 7M1-7M6.

A pesar de la falta de algunos valores en la estación 7M1, se aprecia una disminución de la concentración de PT al aumentar la profundidad en todas las estaciones. De todas maneras se dan algunas desviaciones de esta pauta general en algunas de ellas. Éstas se observan con más detalle en las figuras 4.7.39 y 4.7.40 donde se representa los perfiles y el comportamiento para cada una de las estaciones.

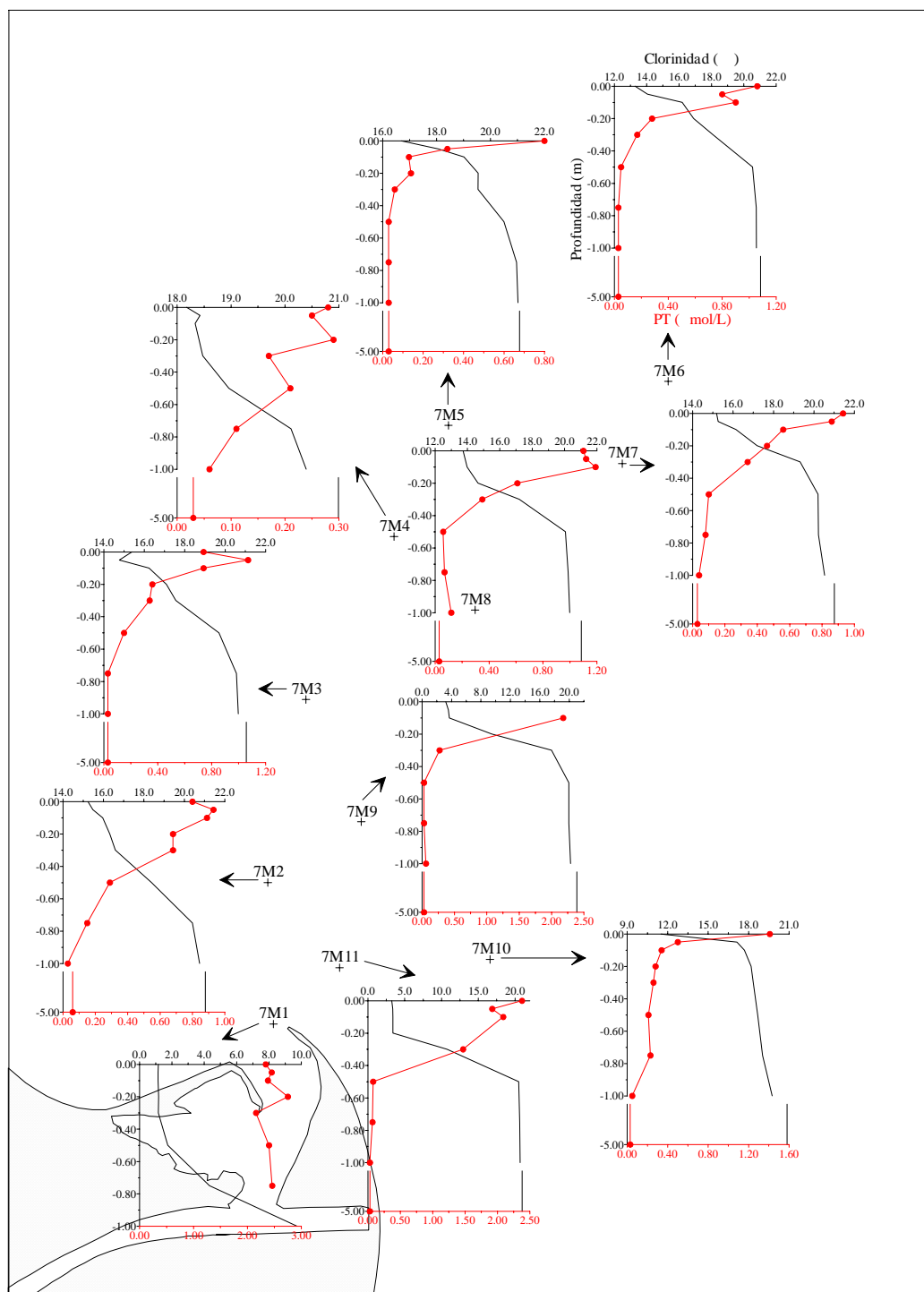


Figura 4.7.39. Perfiles verticales de PT. Muestreo 7.

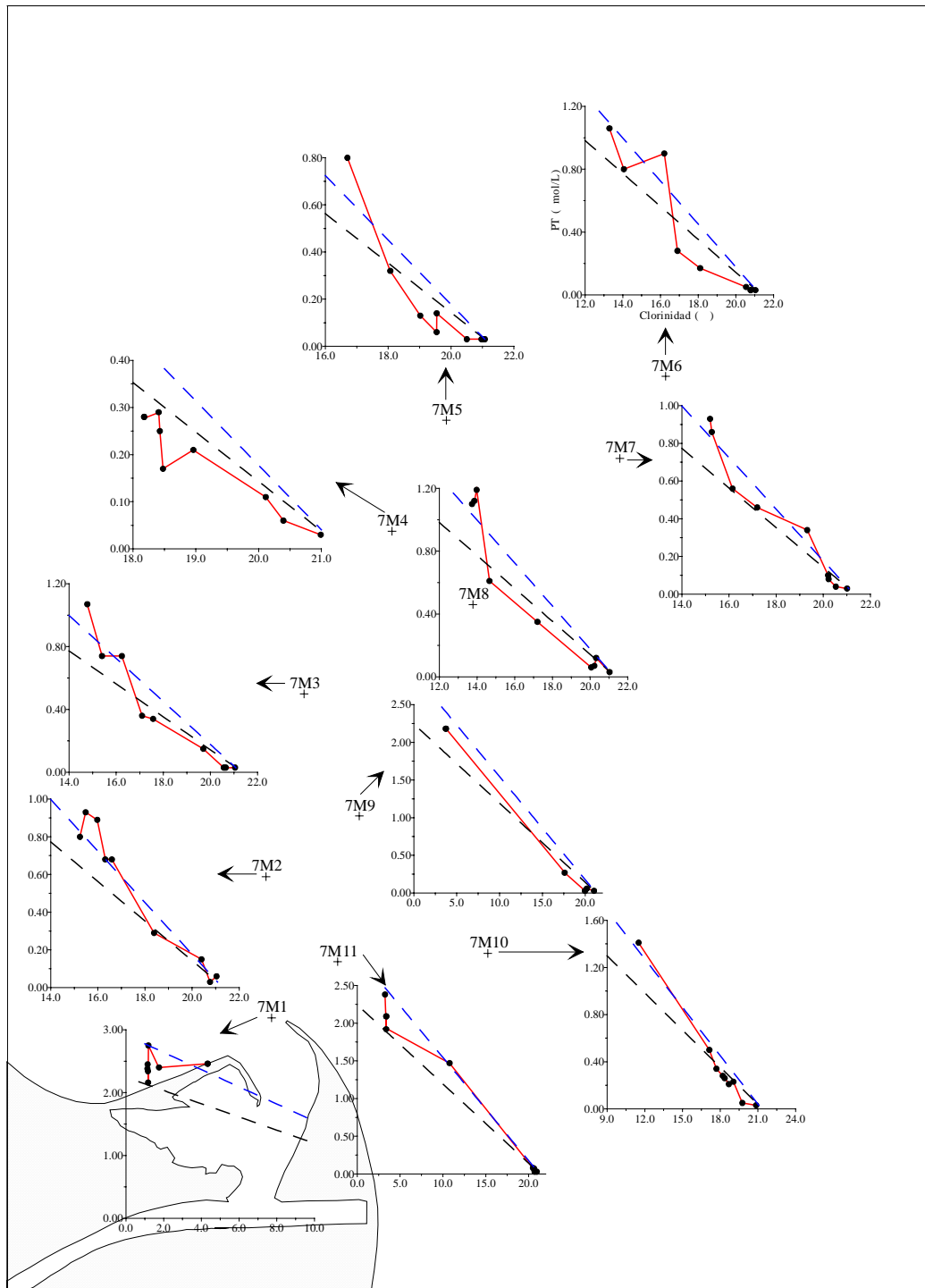


Figura 4.7.40. Variación de la concentración de PT con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

En la figura 4.7.39 se observa que en todas las estaciones las concentraciones disminuyen al aumentar la profundidad, llegando a valores cercanos al agotamiento en todas ellas, excepto en 7M1. Pero se localizan desviaciones en las capas más superficiales (hasta 10 cm de profundidad) en 7M11, 7M6, 7M8, 7M3, 7M2 y 7M4, a mayor profundidad en 7M4 (0.30-0.50 m) y en la columna de agua de 7M1. En esta última estación, la casi constancia en la

clorinidad en los primeros 50 cm de profundidad, da lugar a que los valores de PT sean también bastante similares. La mayoría de los perfiles de PT coinciden con los de PDT y por tanto con los de PSR, con lo cual podemos asegurar que los cambios y desviaciones que se producen en el PT son debidos casi exclusivamente al PSR y no tanto a las formas orgánicas o particuladas. Sólo hay un par de excepciones, que se corresponden con 7M1 a 0.20 m, 7M6 en superficie y 7M4 a 0.50 m, que se deberían más probablemente a cambios en las formas particuladas.

Al igual que ocurre con el PSR y el PDT, se ha calculado una nueva línea de mezcla ideal (línea azul) utilizando el valor máximo de PT de 7M1. En la figura 4.7.40 se observa que las concentraciones de PT disminuyen de manera gradual al aumentar la clorinidad, aunque esta disminución no es muy lineal, encontrando valores de menor y mayor concentración de lo esperado por la simple mezcla física entre dos masas de agua de diferente concentración. Sin embargo en la figura 4.7.41 se comprueba claramente que, al igual que en otros muestreos, la mayoría de muestras quedan bastante cercanas a la línea de mezcla ideal, aunque encontramos valores mayores y menores de lo esperado.

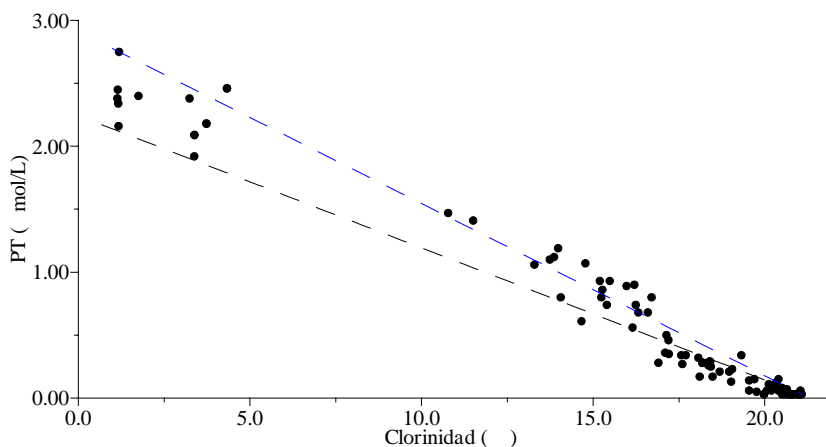


Figura 4.7.41. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.10.- Ácido Ortosilícico

La concentración de ácido ortosilícico en este muestreo posee un rango de variación desde un máximo de 64.0 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 7M1 a 0.10 m de profundidad hasta un mínimo de 1.4 $\mu\text{mol/L}$ en 7M5 a 5.0 m. En la tabla 4.7.10 se muestra los valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones y las profundidades a las que corresponden estos valores.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
7M1	64.0	-0.10	34.5	-1.00
7M9	55.5	-0.10	1.8	-5.0
7M11	56.5	-0.05	1.5	-5.0
7M10	28.0	0.00	1.9	-5.0
7M6	24.5	0.00	1.9	-5.0
7M8	23.0	-0.05	1.7	-5.0
7M3	20.2	0.00	1.6	-5.0
7M7	19.0	-0.05	1.7	-5.0
7M2	20.5	0.00	1.7	-5.0
7M5	15.7	0.00	1.4	-5.0
7M4	10.8	-0.05	2.1	-5.0

Tabla 4.7.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

Como ocurre con otros nutrientes, las mayores concentraciones se encuentran en la estación situada en la desembocadura del río Ebro (7M1), disminuyendo conforme lo hace la influencia continental. En cada una de las estaciones los máximos se localizan en las capas más superficiales, disminuyendo al aumentar la profundidad por la dilución con las aguas salinas de menor concentración.

En la figura 4.7.42 se representa la distribución horizontal a 0.00 m de profundidad. Como era de esperar, y como ocurre con otros nutrientes, las mayores concentraciones se encuentran en las cercanías de la desembocadura, disminuyendo éstas al movernos hacia los extremos de la pluma.

La distribución vertical obtenida en el transecto 7M1-7M6 se muestra en la figura 4.7.43. Como ya se vio en otros muestreos y para otros nutrientes, se observa una progresiva disminución de las concentraciones tanto al alejarnos de la desembocadura como al aumentar la profundidad. Pero como ocurre en otras ocasiones, en esta figura 4.7.43 se observan desviaciones de la pauta general de disminución con la profundidad.

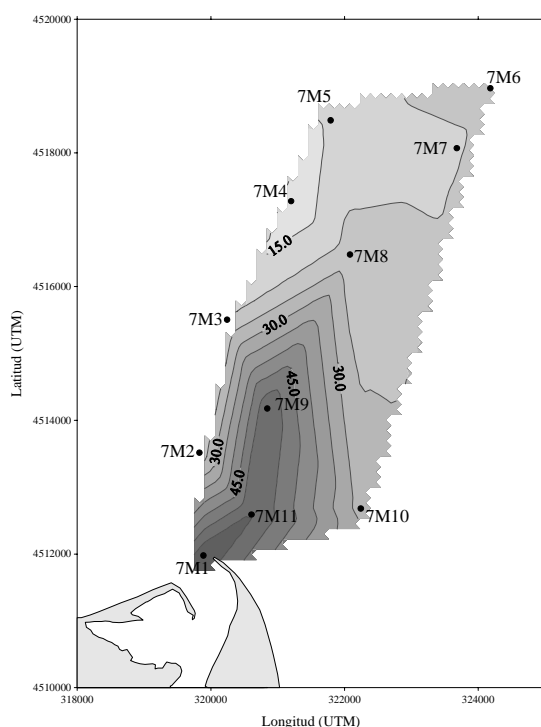


Figura 4.7.42. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 7.

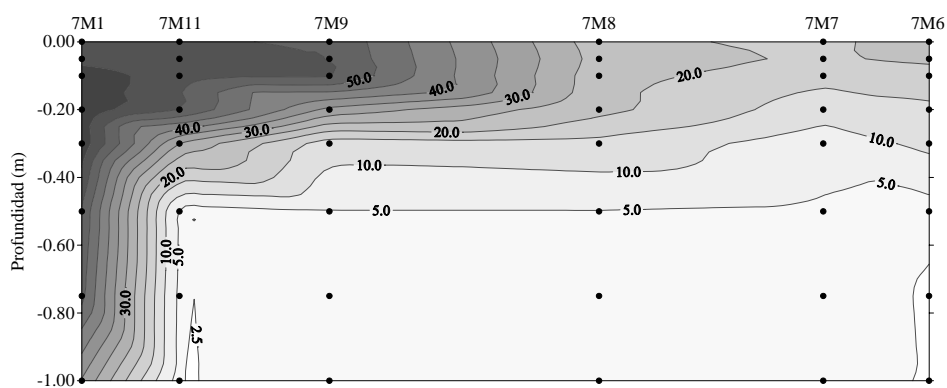


Figura 4.7.43. Distribución espacial de ác. ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 7M1-7M6.

Las desviaciones con la profundidad se observan con más detalle en la figura 4.7.44, donde se representan los perfiles en cada una de las estaciones. Los perfiles de ácido ortosilícico son aproximadamente una “imagen especular” de los de la clorinidad. Así, cuando la clorinidad permanece constante en alguna parte de la columna de agua este nutriente varía poco, como ocurre en las estaciones 7M9 y 7M11 y en menor medida en 7M1. Pero aún así, podemos apreciar diversas desviaciones en los primeros centímetros de la columna de agua en algunas estaciones (7M1, 7M10, 7M8, 7M7, 7M2 y 7M4) que no son achacables a cambios en la clorinidad y que se deben probablemente a la absorción y movimiento de las comunidades fitoplanctónicas.

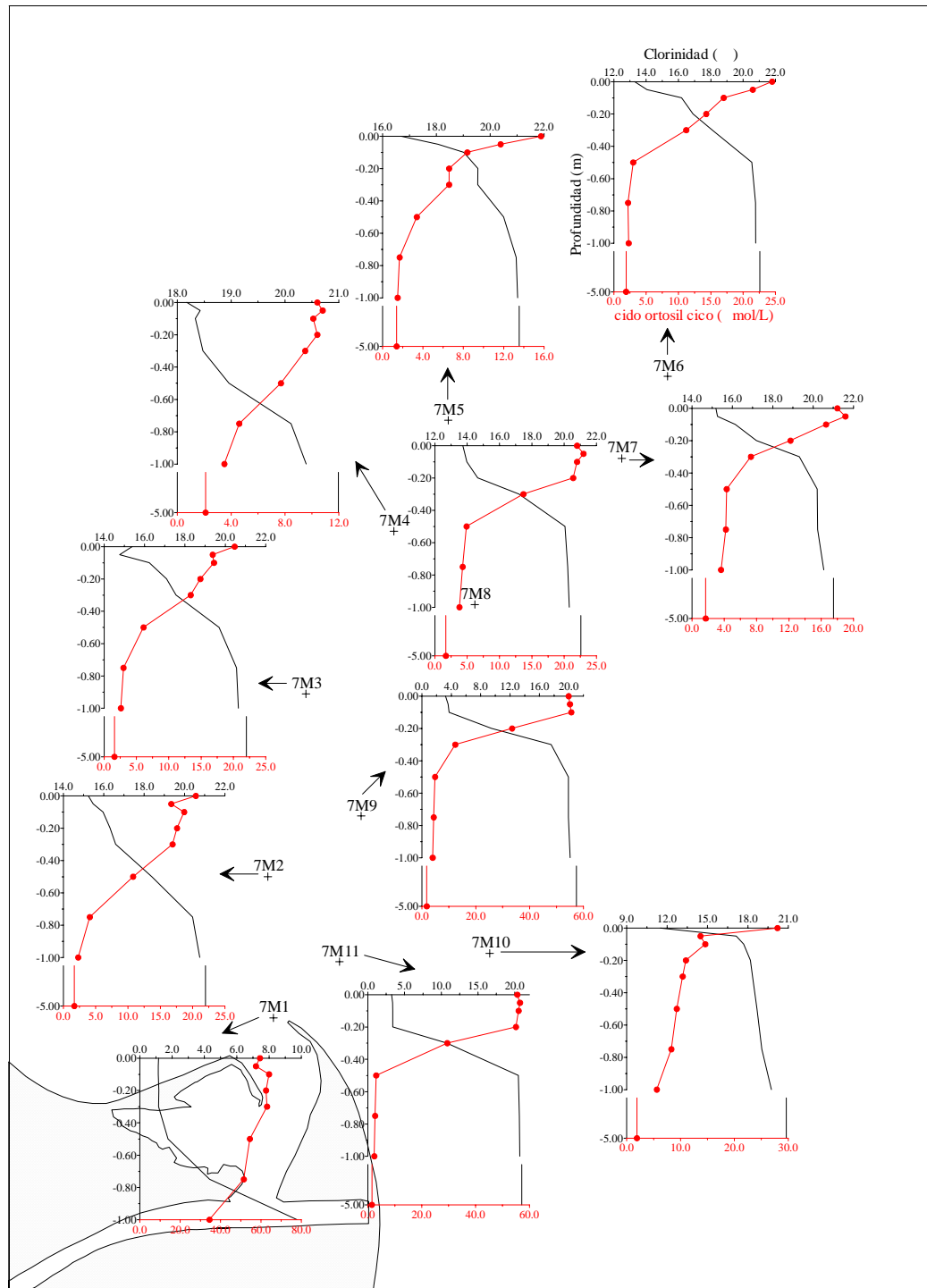


Figura 4.7.44. Perfiles verticales de ácido ortosilícico. Muestreo 7.

En la figura 4.7.45 se muestra el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina en cada una de las estaciones. Como era de esperar, en todas las estaciones, el ácido ortosilícico disminuye gradualmente al aumentar la clorinidad. En general el ácido ortosilícico se comporta de manera bastante conservativa en todas ellas, aunque se aprecian ligeras pérdidas en algunas. Estas pérdidas son debidas probablemente a la absorción por diatomeas y/o a la

precipitación formando sílice mineral suspendida. A la vista del comportamiento conservativo de este nutriente en las capas más salinas y del no agotamiento de éste y sí del PSR, puede decirse que el crecimiento fitoplanctónico que se produce en esta zona más profunda de agua (como posteriormente veremos al estudiar la clorofila *a*) no se debe a las diatomeas si no a fitoplancton no silíceo.

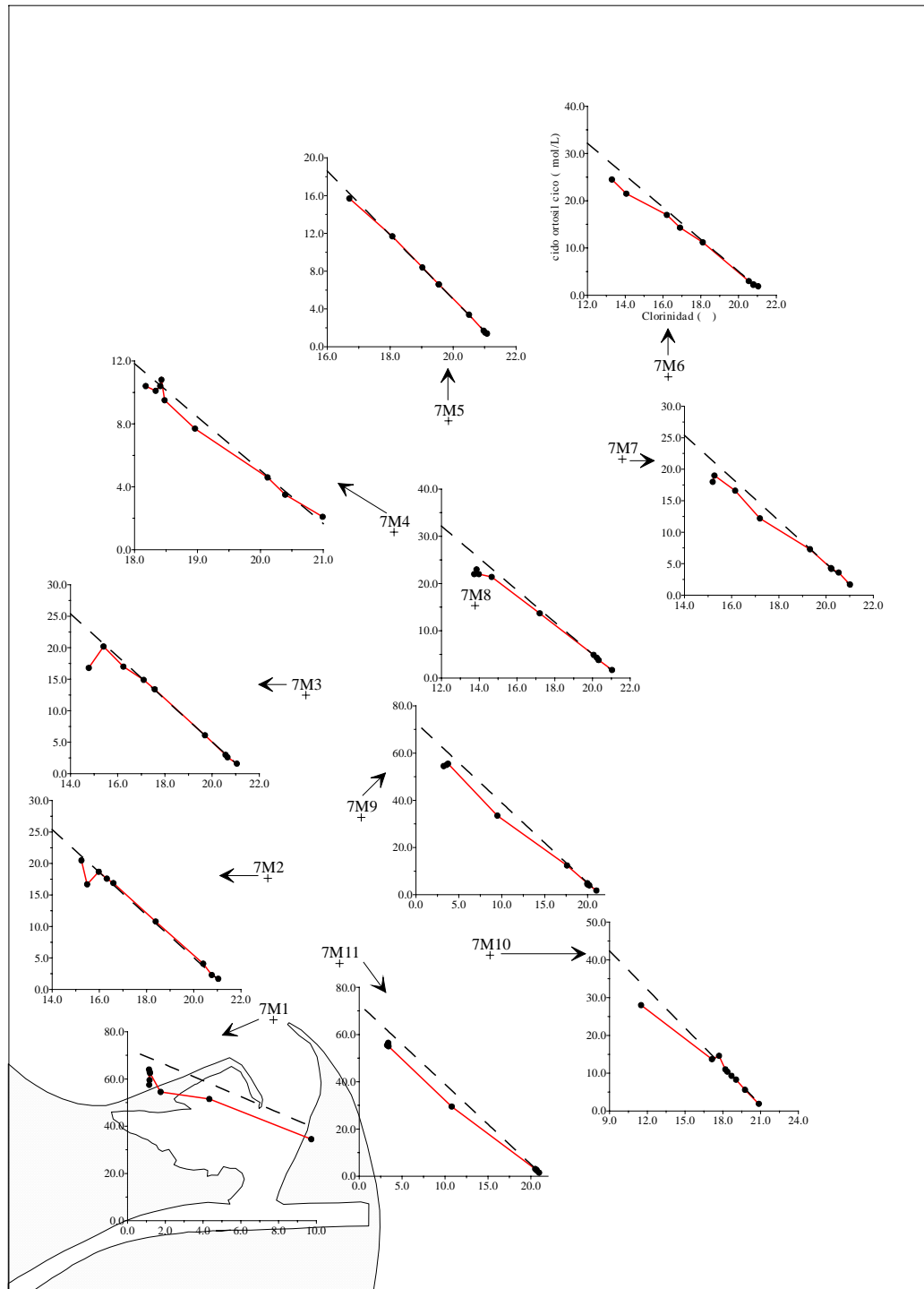


Figura 4.7.45. Comportamiento del ác. ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

El comportamiento global del ácido ortosilícico en la pluma estuarina, se muestra en la figura 4.7.46. Hasta una clorinidad aproximada de 15‰ el comportamiento general es de ligeras pérdidas achacadas a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida. Sin embargo a partir de esta clorinidad el ácido ortosilícico se comporta de manera conservativa debido a que los procesos que disminuyen su concentración se ven compensados por otros que la aumentan.

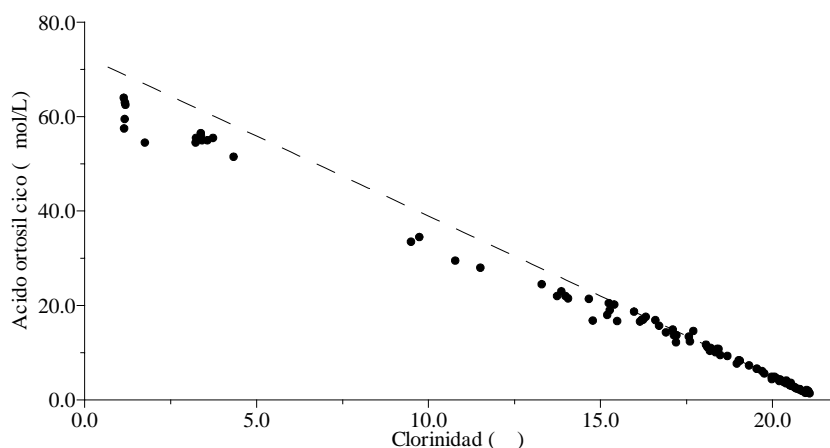


Figura 4.7.46. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 7.

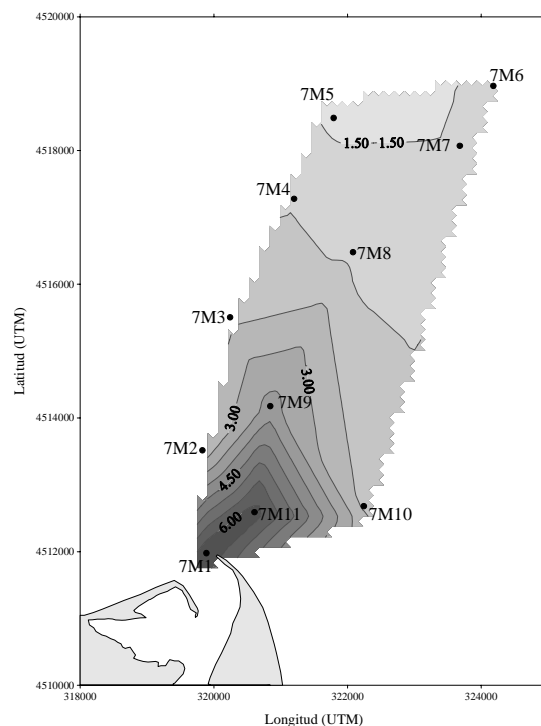
4.7.11.- *Clorofila a*

La concentración de clorofila *a* varía desde un máximo de 6.85 $\mu\text{g/L}$ a la profundidad de 0.30 m en la estación 7M1 hasta un mínimo de 0.90 $\mu\text{g/L}$ en 7M9 a 5.0 m. En la tabla 4.7.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila *a* encontrados para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes. Los mayores valores se localizan en la estación de mayor influencia continental (7M1). En la mayoría de las estaciones las mayores concentraciones se encuentran en superficie (excepto 7M1, 7M6 y 7M4) y las menores en los niveles más profundos, pero sin llegar a valores cercanos al agotamiento en ninguna de ellas.

En la figura 4.7.47 se ha representado la distribución horizontal a 0.00 m de profundidad, donde se observa que los mayores valores se alcanzan en las cercanías de la desembocadura, disminuyendo al hacerlo la influencia fluvial. Del mismo modo puede apreciarse que la pluma fluvial se traslada en dirección nortee-noreste por el efecto del viento.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)
7M1	6.85	-0.30	3.65	-1.00
7M9	4.40	-0.10	0.90	-5.0
7M11	6.57	-0.10	0.94	-5.0
7M10	2.40	0.00	1.07	-5.0
7M6	1.62	-0.20	1.24	-5.0
7M8	2.05	-0.10	1.13	-5.0
7M3	2.38	0.00, -0.10	1.11	-5.0
7M7	1.97	-0.10	1.05	-5.0
7M2	2.58	0.00	1.24	-5.0
7M5	1.49	-0.05	1.07	-1.00
7M4	1.99	-0.30	1.31	-1.00

Tabla 4.7.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.



se localizan en las capas subsuperficiales en 7M1, 7M11, 7M9 y 7M8 y no en superficie.

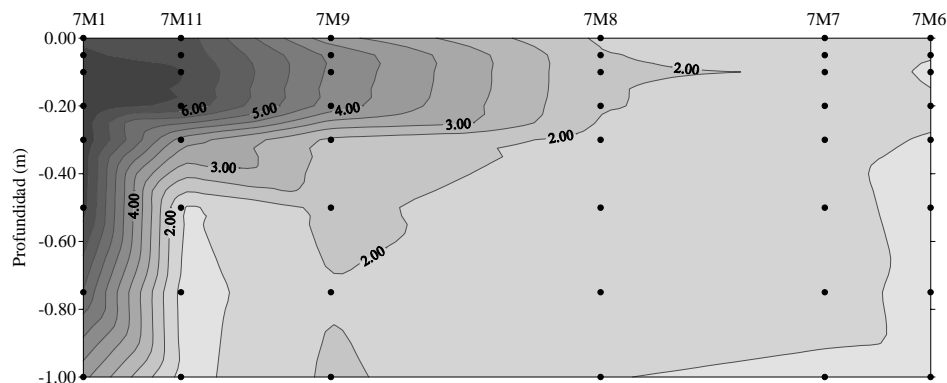


Figura 4.7.48. Distribución espacial de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 7M1-7M6.

En la figura 4.7.49 se representa los perfiles de clorofila *a* para cada una de las estaciones. A pesar de que en general estas concentraciones disminuyen al aumentar la profundidad, podemos encontrar algunas desviaciones de esta pauta general:

- En todas las estaciones tienen lugar ligeras variaciones de la concentración de clorofila en las capas más superficiales (aproximadamente en los 20 cm superiores) que podría achacarse al movimiento de las comunidades planctónicas y/o al efecto dañino de los rayos UV en los primeros centímetros de la columna de agua.

- Otras pequeñas desviaciones se pueden observar en capas más profundas (7M10 y 7M5) probablemente debido a un mayor desarrollo de la comunidad planctónica, pues incluso en 7M5 a 5.0 m de profundidad se encuentra mayor cantidad de clorofila *a* que a 0.00 m.

- Además se ha de reseñar que en las estaciones de mayor influencia continental, 7M1, 7M9 y 7M11, la constancia en la clorinidad en los primeros centímetros de la columna de agua provoca mínimos cambios en las concentraciones de clorofila (excepto la desviación producida en 7M9 a 0.00 m).

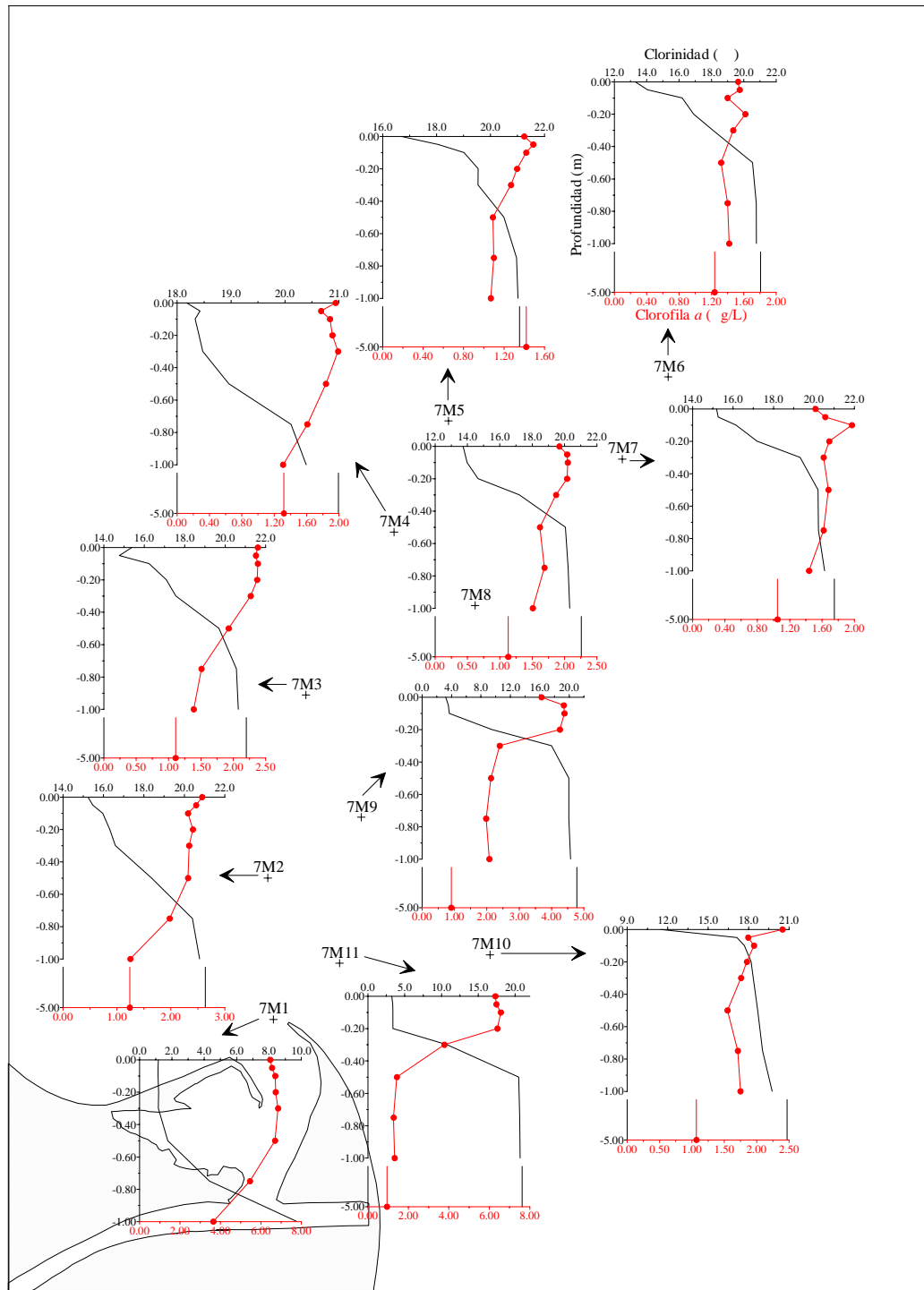


Figura 4.7.49. Perfiles verticales de clorofila *a*. Muestreo 7.

En la figura 4.7.50 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones. Al igual que ocurre en otros muestreos, las concentraciones de clorofila *a* tienden a disminuir al aumentar la clorinidad, pero se encuentra diversas variaciones en algunas estaciones.

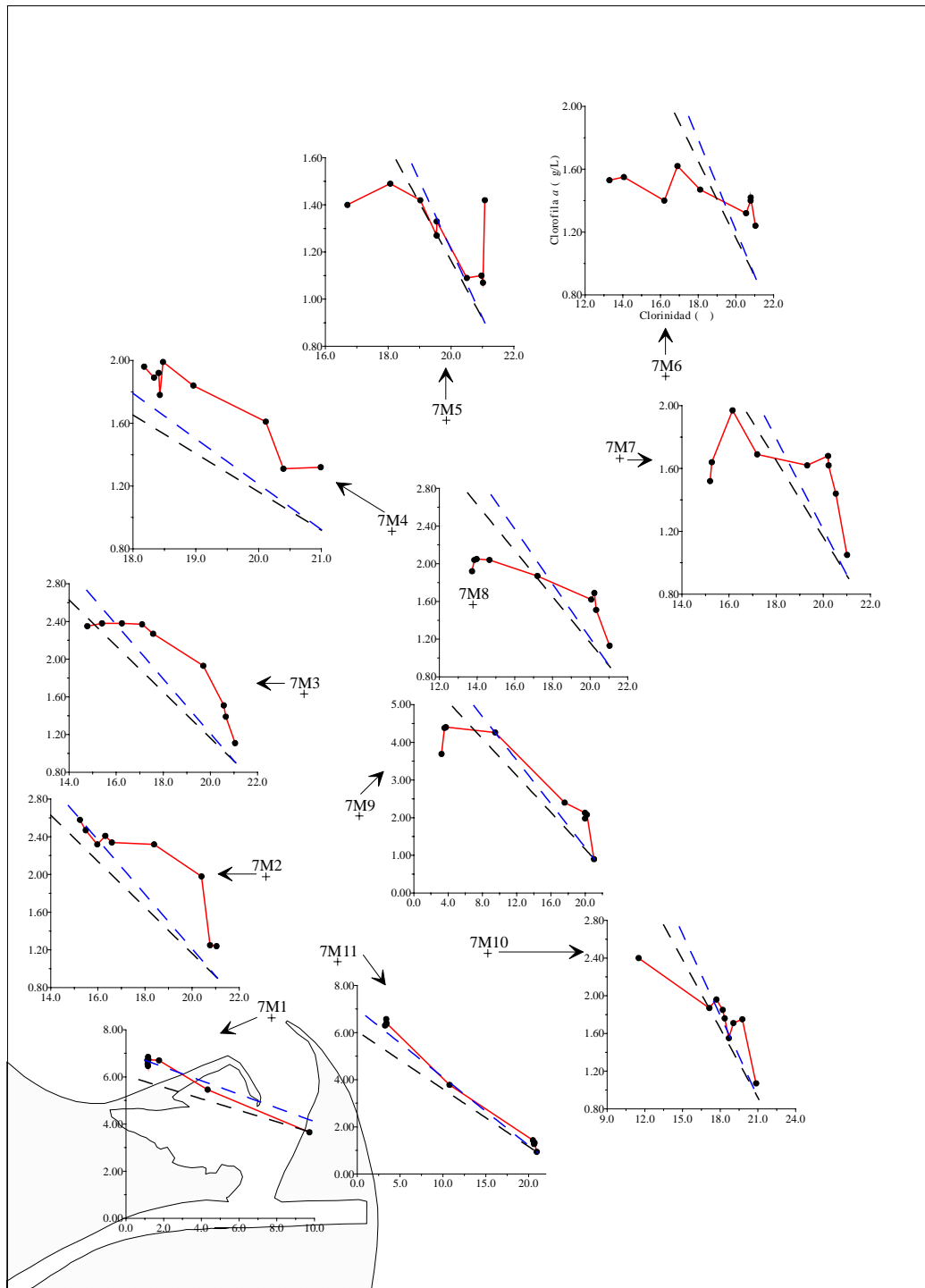


Figura 4.7.50. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 7.

En la mayoría de las estaciones, sobre todo en la estación 7M1, las concentraciones de clorofila quedan algo alejadas de la línea de mezcla de origen fluvial (línea negra), por lo que aprovechando la casi constancia que se produce en las muestras más dulces de la estación 7M1, se ha calculado otra línea de mezcla (línea azul) utilizando como extremo dulce el promedio de éstas. Teniendo en cuenta esta última línea podemos observar que en las zonas de menor clorinidad

de la mayoría de estaciones (excepto 7M1, 7M11 y 7M4) nos encontramos con menores concentraciones de lo esperado, probablemente achacables al movimiento de las comunidades planctónicas y/o al efecto dañino de los rayos UV en estas capas de agua que son las más superficiales. A mayores clorinidades nos encontramos con mayores concentraciones de lo esperado. Así, y a la vista de estos gráficos de mezcla podemos decir que el crecimiento de la comunidad fitoplanctónica es mayor en la parte más salina de la columna de agua, como así se observa por ejemplo en la estación 7M7.

La variación global de las concentraciones de clorofila *a* con la clorinidad se ha representado en la figura 4.7.51, donde también se han situado ambas líneas de mezcla, aunque nos centraremos en la calculada a partir del promedio de 7M1. Como ya hemos comentado anteriormente, en la zona de menor clorinidad (aproximadamente hasta 17‰) encontramos concentraciones de clorofila *a* menores de lo esperado por la mezcla física (con algunas excepciones) que podría achacarse al movimiento de las comunidades planctónicas y/o al efecto dañino de los rayos UV. Sin embargo a mayores clorinidades la mayoría de las muestras quedan situadas por encima de la línea de mezcla ideal por un aumento inesperado del número de células fitoplanctónicas.

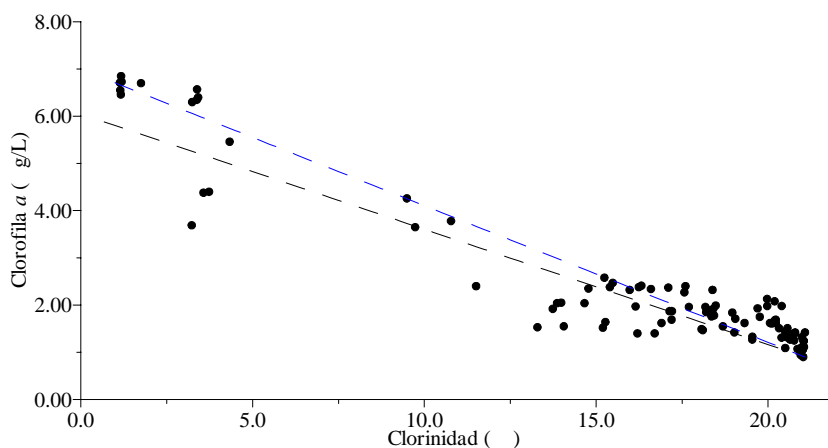


Figura 4.7.51. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 7.

4.7.12.- Relaciones entre nutrientes

a) NID/PSR

La relación NID/PSR posee un rango de variación desde un valor máximo de 1415.0 localizado en la estación 7M6 a 0.10 m de profundidad hasta un

mínimo superior a 63.3 en 7M5 a 5.0 m. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.7.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
7M1	150.9	0.00	80.0	-0.50
7M9	>390.0	-0.50	78.9	-0.20
7M11	356.0	-0.05	92.3	-0.10
7M10	>513.3	-1.00	87.0	0.00
7M6	1415.0	-0.10	>70.0	-5.0
7M8	>380.0	-0.50	>93.3	-5.0
7M3	>700.0	-0.50	>100.0	-5.0
7M7	>310.0	-0.75	>100.0	-5.0
7M2	210.0	-0.75	>90.0	-5.0
7M5	>623.3	-0.20	>63.3	-5.0
7M4	561.7	0.00	>110.0	-5.0

Tabla 4.7.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

Como ya ocurría en anteriores muestreos, a primera vista no parece existir una pauta clara de variación de esta relación con la profundidad, al influir tanto las concentraciones de NID como las de PSR. En las estaciones de menor influencia fluvial (7M6, 7M8, 7M3, 7M7, 7M2, 7M5 y 7M4) los mínimos se encuentran a una profundidad de 5.0 m, mientras que en el resto se producen tanto en superficie (7M10) como a mayores profundidades (7M1, 7M9 y 7M11). En cambio los máximos de esta relación se localizan a diferentes profundidades. Así se observa en la figura 4.7.52, donde se muestra las variaciones de esta relación con la profundidad para cada una de las estaciones. Lo primero que se debe resaltar son la gran cantidad de valores que son “mayores que” debido a la existencia de multitud de muestras donde el PSR está por debajo del límite de detección del método analítico. Aunque en todas las estaciones, excepto en 7M10, los valores a 0.00 m son mayores que a 5.0 m de profundidad, esta disminución con la profundidad no es ni mucho menos gradual. En la mayoría de ellas esta relación aumenta desde la superficie hasta un máximo localizado a profundidades entre 0.20 y 0.50 m (excepto en 7M1 que se produce a 0.00 m, 7M11 a 0.05 m, 7M10 a

1.00 m y 7M6 a 0.10 m). A partir de estas profundidades, comienza a disminuir hasta llegar a los mínimos a las mayores profundidades. Caso aparte merece la estación de mayor influencia fluvial, 7M1, en la que se observa un perfil sin una pauta clara.

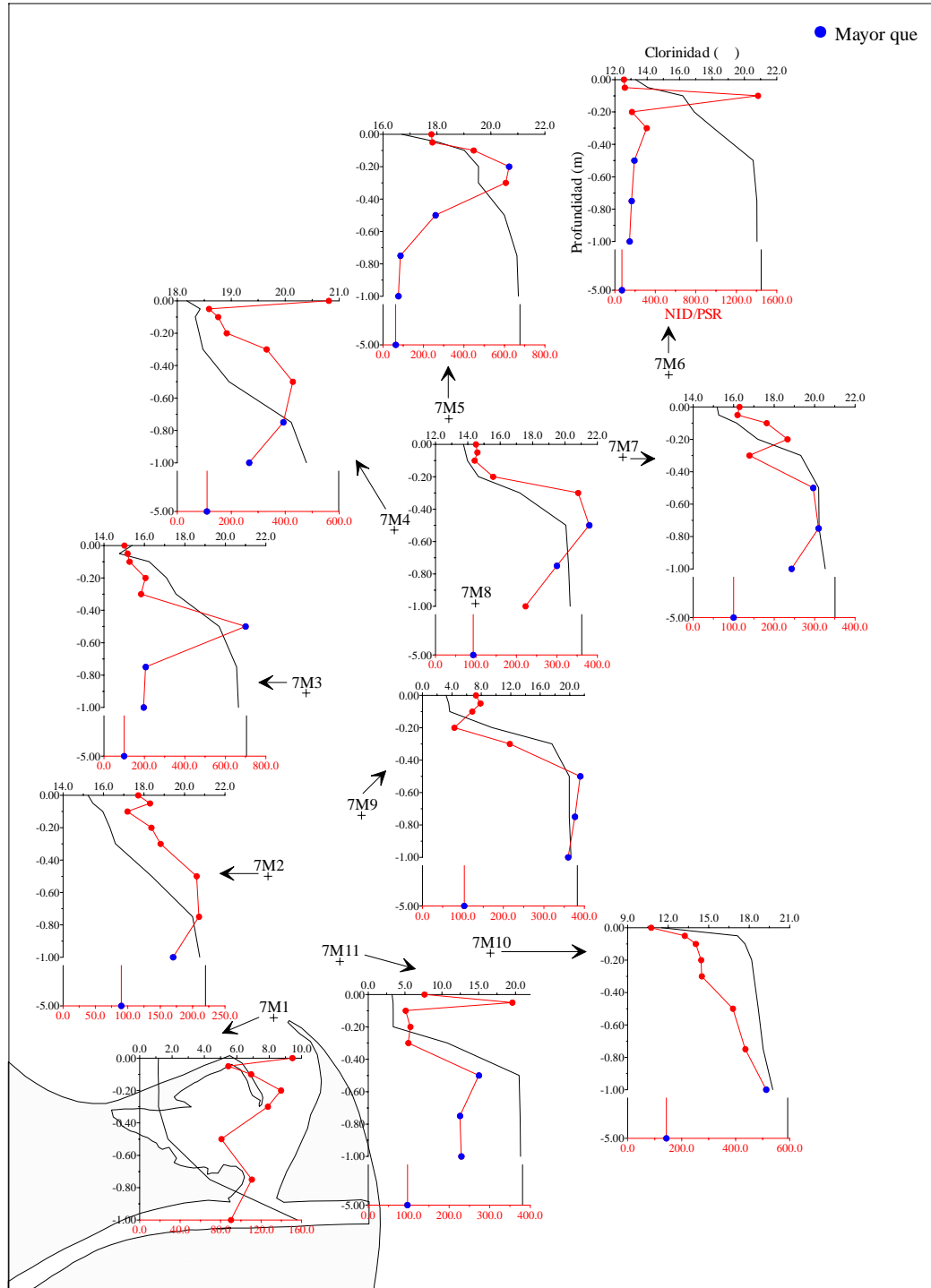


Figura 4.7.52. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 7.

En los valores de esta relación tiene tanta importancia los valores de NID como los de PSR, y así se puede observar en estos perfiles. Los aumentos de esta

relación se deben casi exclusivamente a grandes disminuciones de PSR ya que en los perfiles de NID (figura 4.7.24) no se observan aumentos de importancia. De hecho los máximos se encuentran en profundidades intermedias en la mayoría de estaciones debido a la gran disminución del PSR en estas zonas.

En la figura 4.7.53 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad. Hasta una clorinidad aproximada de 17‰ los valores de NID/PSR se mantienen aproximadamente constantes en torno a 100, a mayores clorinidades se produce un aumento de éstos y comienzan a detectarse valores “mayores que” debido al agotamiento del PSR en estas capas de agua más salinas. Como ocurre en los muestreos anteriores, los valores de NID/PSR son todos mayores de 20 debido a las bajas concentraciones de PSR encontradas, por lo que podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante.

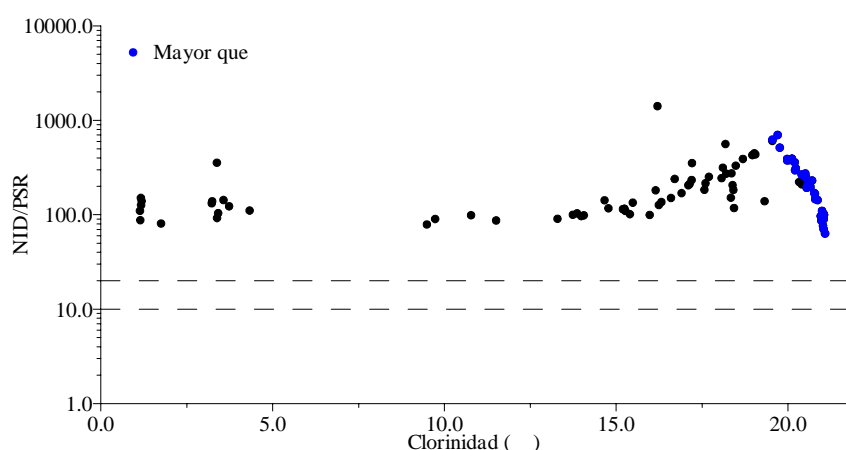


Figura 4.7.53. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 7.

b) NID/Ácido ortosilícico

La relación NID/ácido ortosilícico posee un rango de variación desde un máximo de 4.0 localizado en la estación 7M3 a 0.05 m de profundidad, hasta un mínimo de 1.1 en 7M6 a 5.0 m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.7.13. Aunque en esta tabla no se observa una pauta clara de variación de esta relación en la horizontal entre las diferentes estaciones, sí parece apreciarse una pauta en la vertical. En general, con algunas excepciones como 7M1, los máximos

de esta relación se dan en las capas más superficiales y los mínimos a 5.0 m de profundidad.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
7M1	3.4	-1.00	2.4	-0.05, -0.20
7M9	3.3	-0.30	1.7	-5.0
7M11	3.5	-0.30	1.9	-5.0
7M10	3.4	-0.05	2.3	-5.0
7M6	3.3	-0.10	1.1	-5.0
7M8	3.4	-0.20	1.6	-5.0
7M3	4.0	-0.05	1.9	-5.0
7M7	3.6	0.00, -0.20	1.8	-5.0
7M2	3.2	0.00, -0.30	1.6	-5.0
7M5	3.2	0.00, -0.10	1.4	-5.0
7M4	3.3	-0.50	1.6	-5.0

Tabla 4.7.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 7.

En la figura 4.7.54 se ha representado la variación de esta relación con la profundidad. Como también ocurría en anteriores muestreos, se ha de destacar la ausencia total de valores “mayores que” debido a la inexistencia de muestras en las que el ácido ortosilícico está cercano al agotamiento. Si comparamos estos perfiles (figura 4.7.54) con los obtenidos para el NID (figura 4.7.24) y para el ácido ortosilícico (figura 4.7.44) se observa que en las capas más superficiales de algunas estaciones (7M1, 7M11, 7M8, 7M3 y 7M4) hay una cierta similitud entre los de esta relación y los del NID debido a la casi constancia en los valores del ácido ortosilícico. En el resto de estaciones la influencia de ambos nutrientes provoca una ausencia de similitud entre estos perfiles. Se ha de resaltar que debido al pequeño rango de variación obtenido en los valores de NID/ácido ortosilícico, cualquier mínimo cambio en ésta provoca grandes discontinuidades en sus perfiles con lo que no se observa una pauta clara de variación con la profundidad.

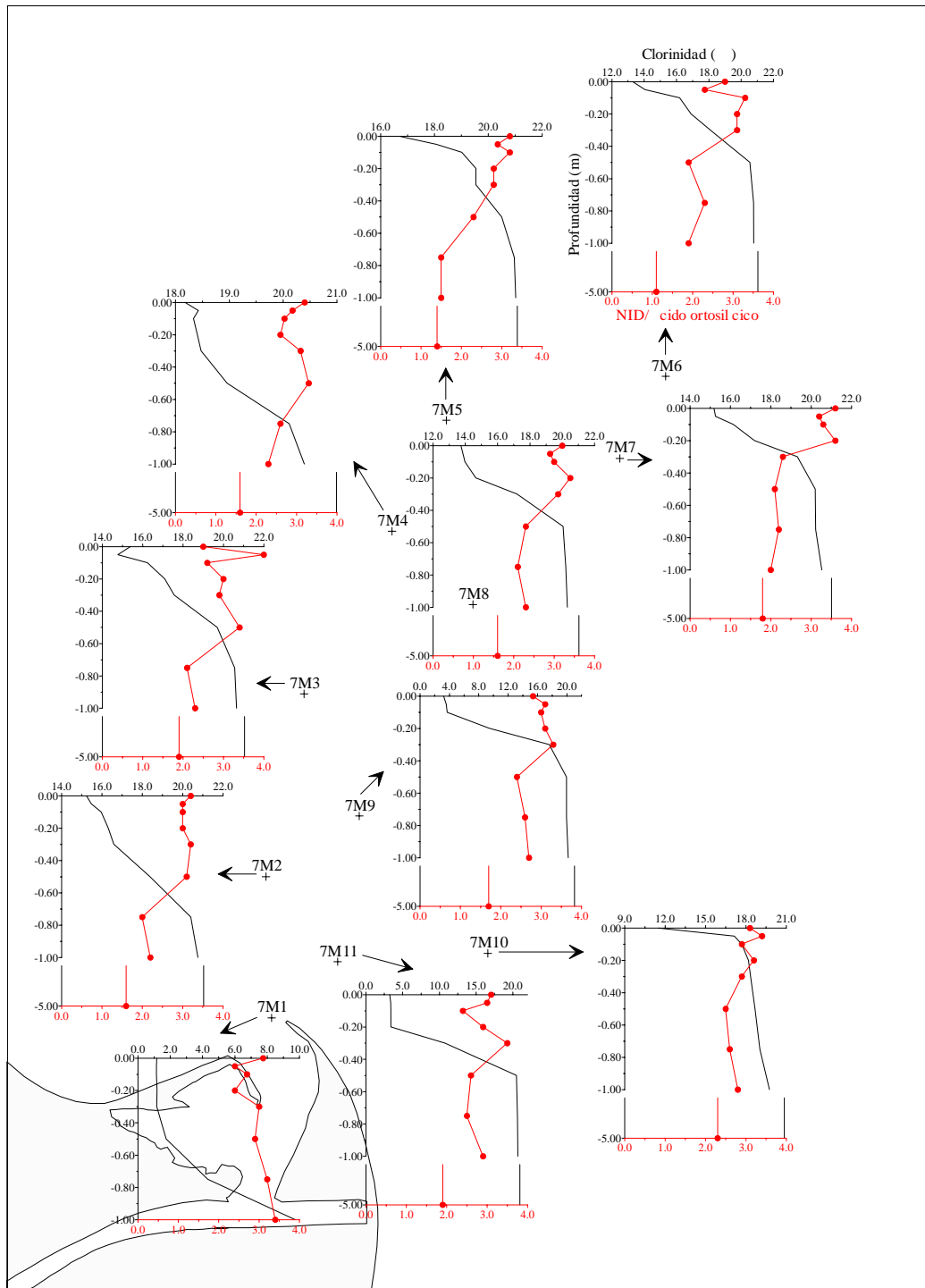


Figura 4.7.54. Perfiles verticales de NID/ácido ortosilícico. Muestreo 7.

En la figura 4.7.55 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad. Hasta una clorinidad aproximada de 17‰ los valores de esta relación se mantienen aproximadamente constantes en torno a 3, mientras que a mayor clorinidad estos valores van disminuyendo pero sin llegar a ser inferiores al valor límite de 1. Como todos los valores de esta relación son mayores de 1, en principio el NID no llegaría a ser el nutriente limitante en estas condiciones.

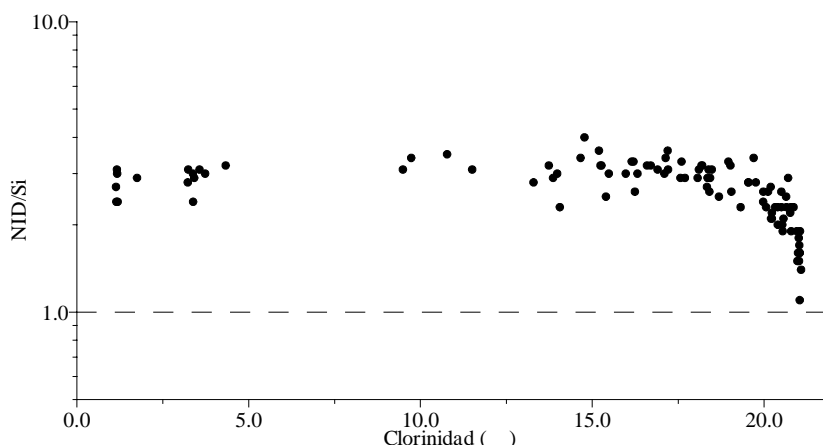


Figura 4.7.55. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 7.

4.7.13.- Tratamiento estadístico

Se ha realizado el análisis factorial incluyendo las 9 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*. La matriz de correlación anti-imagen mostrada en la tabla 4.7.14 nos indica que todas las variables son idóneas para el tratamiento estadístico.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	2.653E-03	2.419E-03	1.618E-03	7.565E-04	3.740E-03	1.653E-03	4.439E-03	2.412E-03	1.648E-03
	Amonio	2.419E-03	7.524E-02	-1.417E-02	1.105E-03	-3.745E-03	4.606E-03	1.562E-04	2.553E-04	4.102E-03
	Nitrito	1.618E-03	-1.417E-02	4.889E-02	2.487E-03	3.147E-03	1.297E-03	4.443E-03	-9.257E-04	-1.383E-02
	Nitrato	7.565E-04	1.105E-03	2.487E-03	1.936E-02	-2.039E-04	-2.422E-03	1.773E-03	-2.606E-03	8.905E-03
	PSR	3.740E-03	-3.745E-03	3.147E-03	-2.039E-04	4.948E-02	-2.593E-02	-1.605E-02	4.461E-03	-9.542E-03
	PDT	1.653E-03	4.606E-03	1.297E-03	-2.422E-03	-2.593E-02	3.463E-02	2.133E-02	-1.920E-04	1.358E-02
	PT	4.439E-03	1.562E-04	4.443E-03	1.773E-03	-1.605E-02	2.133E-02	0.171	9.912E-04	2.259E-04
	Ác. ortosil	2.412E-03	2.553E-04	-9.257E-04	-2.606E-03	4.461E-03	-1.920E-04	9.912E-04	3.262E-03	-2.451E-03
	Clorofila	1.648E-03	4.102E-03	-1.383E-02	8.905E-03	-9.542E-03	1.358E-02	2.259E-04	-2.451E-03	9.074E-02
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.888</u>	0.171	0.142	0.106	0.326	0.172	0.209	0.820	0.106
	Amonio	0.171	<u>0.986</u>	-0.234	2.896E-02	-6.138E-02	9.024E-02	1.379E-03	1.629E-02	4.965E-02
	Nitrito	0.142	-0.234	<u>0.981</u>	8.084E-02	6.399E-02	3.152E-02	4.865E-02	-7.330E-02	-0.208
	Nitrato	0.106	2.896E-02	8.084E-02	<u>0.975</u>	-6.587E-03	-9.355E-02	3.084E-02	-0.328	0.212
	PSR	0.326	-6.138E-02	6.399E-02	-6.587E-03	<u>0.908</u>	-0.626	-0.175	0.351	-0.142
	PDT	0.172	9.024E-02	3.152E-02	-9.355E-02	-0.626	<u>0.923</u>	0.277	-1.806E-02	0.242
	PT	0.209	1.379E-03	4.865E-02	3.084E-02	-0.175	0.277	<u>0.975</u>	4.202E-02	1.816E-03
	Ác. ortosil	0.820	1.629E-02	-7.330E-02	-0.328	0.351	-1.806E-02	4.202E-02	<u>0.887</u>	-0.142
	Clorofila	0.106	4.965E-02	-0.208	0.212	-0.142	0.242	1.816E-03	-0.142	<u>0.970</u>

Tabla 4.7.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 7.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.941, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Maravilloso”. Este análisis nos reduce estas 9 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 93.555% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.7.15. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

La matriz del único componente extraído se muestra en la tabla 4.7.16. De nuevo y como ocurre en todos los muestreos los aportes continentales juegan un

papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados, incluso el amonio, están íntimamente relacionados con la clorinidad, poseen una pauta contraria a la de la clorinidad.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	8.420	93.555	93.555
2	0.194	2.156	95.712
3	0.157	1.747	97.459
4	9.025E-02	1.003	98.461
5	6.307E-02	0.701	99.162
6	4.130E-02	0.459	99.621
7	2.266E-02	0.252	99.873
8	9.838E-03	0.109	99.982
9	1.597E-03	1.774E-02	100.000

Tabla 4.7.15. Varianza total explicada.

	Componente 1
Clorinidad	-0.996
Amonio	0.965
Nitrito	0.974
Nitrato	0.985
PSR	0.957
PDT	0.966
PT	0.916
Ácido ortosili.	0.993
Clorofila	0.950

Tabla 4.7.16. Matriz de componentes para el muestreo 7.

4.8.- Muestreo 8 (4 febrero 2000)

4.8.1.- Aspectos meteorológicos e hidrodinámicos

a) Condiciones meteorológicas

Aproximadamente entre las 09:30 y las 15:15 (GMT) del día 4 de febrero de 2000 se recogieron 97 muestras repartidas en 11 estaciones. Según la información proporcionada por la Generalitat de Catalunya, el rango de temperaturas en la zona osciló entre los 4-9°C de mínima y los 15-20°C de máxima. Los vientos en la zona de estudio fueron flojos con algunas rachas fuertes de dirección sur. En la figura 4.8.1 se han representado los datos meteorológicos procedentes de la estación de Sant Carles de la Ràpita.

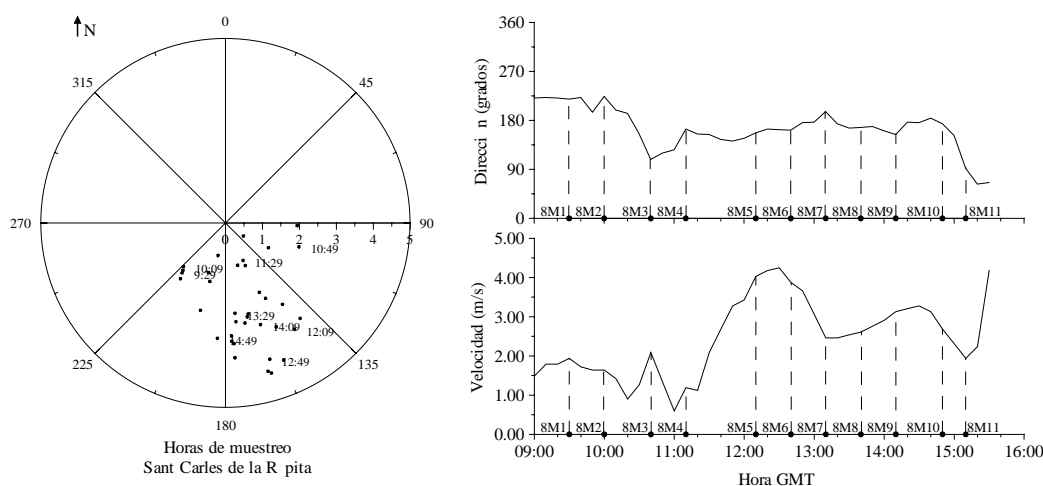


Figura 4.8.1. Dirección (grados) y velocidad (m/s) del viento para el muestreo 8.

La dirección del viento varió entre 92.0 y 224.0 grados, con una dirección media de 167.5 grados, y la velocidad osciló entre 0.60 y 4.25 m/s con un promedio de 2.46 m/s. En general, el viento fue durante todo el muestreo de componente sur-sureste, pero variando de dirección entre unas estaciones y otras. En 8M1 y 8M2 sopló de dirección suroeste, desde 8M3 hasta 8M10 de sur-sureste, y en 8M11 del este. La velocidad también varió entre unas estaciones y otras, siendo muy débil durante los muestreos realizados en 8M1, 8M2, 8M3 y 8M4, y aumentando posteriormente durante los muestreos realizados en las restantes.

b) Condiciones hidrodinámicas

b.1) Diferencia de altura en el nivel del mar

La diferencia de altura en el nivel del mar por las mareas astronómicas y el oleaje, medida en la boya situada en la estación fija de L'Ampolla se ha representado en la figura 4.8.2, obteniéndose el mismo rango de variaciones que en los muestreos anteriores. La diferencia de altura máxima encontrada fue de 10.5 cm, por lo que al igual que en los muestreos anteriores consideraremos que las corrientes mareales y el oleaje no tienen gran importancia en este muestreo.

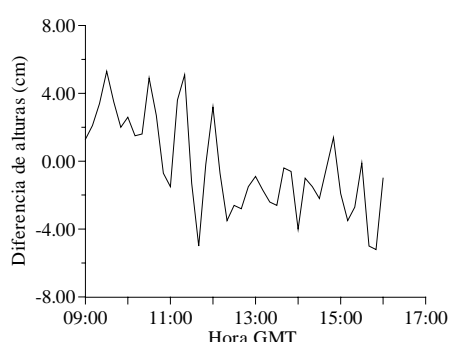


Figura 4.8.2. Diferencia de altura (cm) del nivel del mar durante el muestreo 8.

b.2) Caudales del río Ebro

En la figura 4.8.3 se representa el hidrograma (caudal frente al tiempo) para el mes en el que llevamos a cabo este muestreo y para el día de muestreo, con los datos procedentes de las mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en Tortosa.

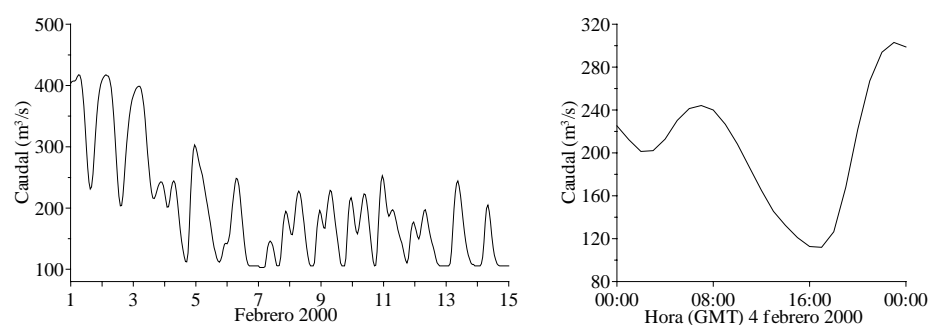


Figura 4.8.3. Caudales horarios medios (m^3/s) del río Ebro medidos en la estación de Tortosa durante el muestreo 8.

Al igual que ocurre en los muestreos anteriores, los caudales máximos horarios se localizan en las horas de mayor gasto hidroeléctrico, a primeras horas de la mañana y de la noche. Pero, como ya comentamos anteriormente, los

caudales medidos en Tortosa no son de utilidad para poder estimar el caudal real circulante en la desembocadura.

b.3) Corrientes

En este muestreo, igual que en el anterior, no se posee datos de velocidad y dirección de la corriente del correntímetro ADP.

4.7.2.- Temperatura y salinidad/clorinidad/conductividad

Al igual que ocurre en otros muestreos, en esta campaña también se realizó una medida previa de la conductividad en superficie para situar las 11 estaciones de muestreo (Tabla A.14 del Anexo). En la figura 4.8.4 se representan los perfiles de clorinidad (‰) obtenidos de las muestras de agua recogidas a las diferentes profundidades en las 11 estaciones mediante el SWAS (Tabla A.15 del Anexo).

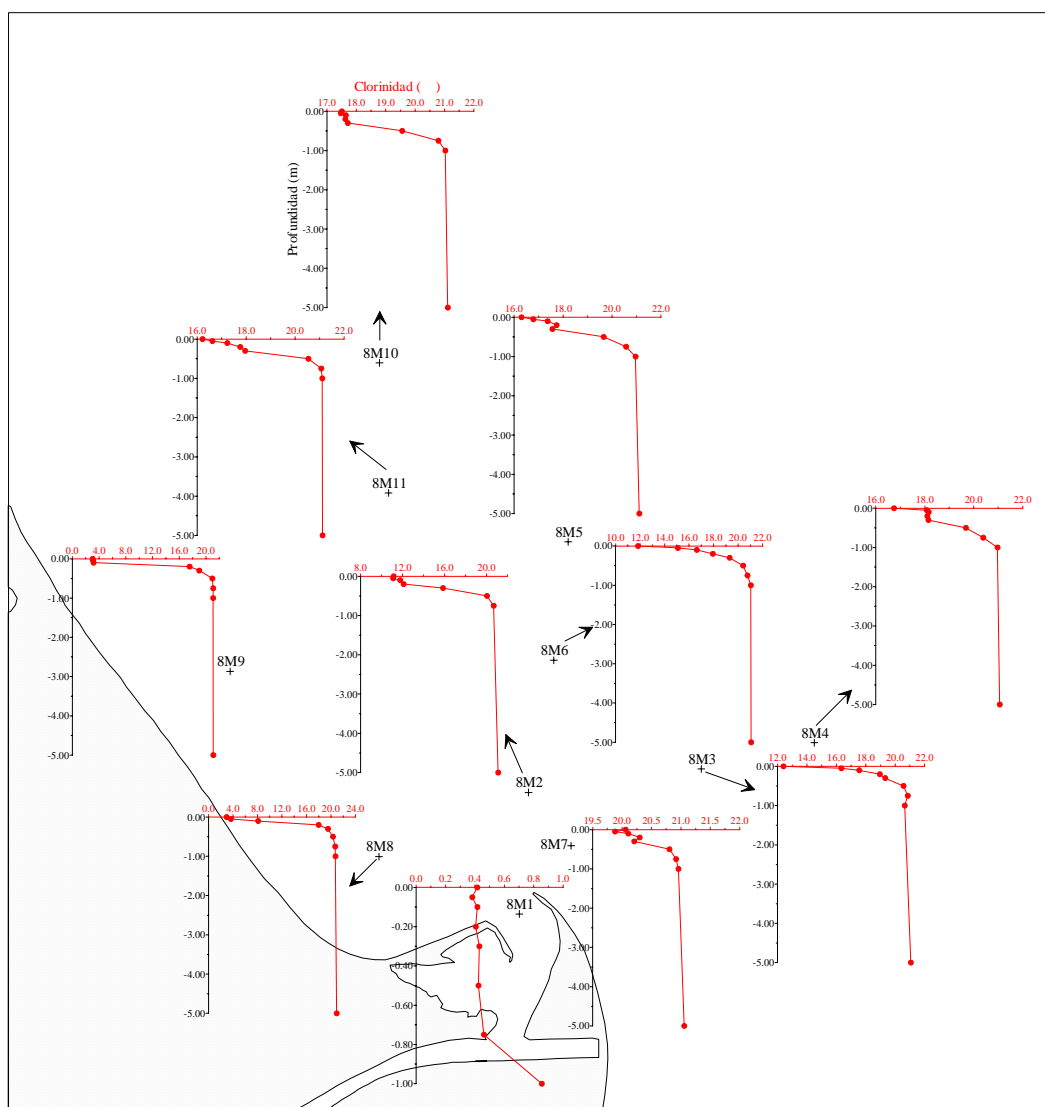


Figura 4.8.4. Perfiles de clorinidad (‰) (•) de las muestras de agua para el muestreo 8.

a) Temperatura

A pesar de que se realizaron medidas de temperatura con el CTD Seabird en todas las estaciones, igual que en muestreos anteriores, las grandes variaciones obtenidas en las capas más superficiales nos impide estudiar estos resultados.

b) Salinidad/clorinidad/conductividad

En la figura 4.8.5 se ha representado los datos de conductividad que se obtuvieron en el muestreo previo, donde se observa que estos datos superficiales, realizados a lo largo de todo el muestreo, no aportan una buena información al no apreciarse un movimiento unidireccional de la pluma estuarina. Esto puede deberse a diversas causas, a algún problema de medida de la conductividad *in situ* o a la variación de las condiciones ambientales en la zona como ya se reseñó en el apartado 4.8.1.

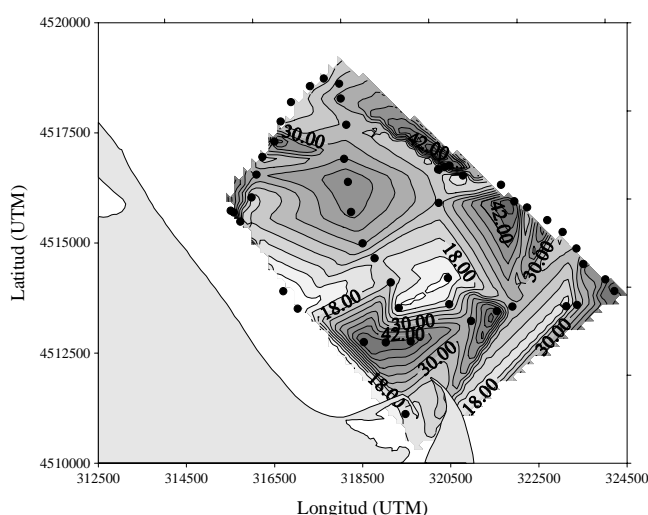


Figura 4.8.5. Distribución superficial de conductividad (mS/cm) en la previa toma de muestras. Muestreo 8.

En la tabla 4.8.1 se han especificado los valores máximos y mínimos de clorinidad (‰) de las muestras de agua recogidas a distintas profundidades en cada una de las estaciones, observando un rango de variación similar al del muestreo anterior.

Como era de esperar por la diferencia de densidad entre las aguas dulces/salobres del río y las salinas del mar, los máximos se localizan en las capas más profundas de todas las estaciones, situándose los mínimos en las más superficiales. Los valores de clorinidad van variando entre las diferentes estaciones, encontrando las aguas más dulces en la estación 8M1, situada en la

desembocadura del río Ebro. Sin embargo, y al contrario de lo que era de esperar por la influencia del viento, los mayores valores de clorinidad no se localizan en la estación más septentrional (8M10), sino en una bastante cercana a la boca, 8M7, por las razones que posteriormente comentaremos.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)	Clorinidad (‰)	Profundidad (m)
8M1	0.855	-1.00	0.382	-0.05
8M8	20.940	-5.0	2.963	0.00
8M9	21.099	-5.0	3.036	0.00
8M2	21.115	-5.0	11.102	-0.10
8M6	21.068	-5.0	11.831	0.00
8M3	21.068	-5.0	12.397	0.00
8M11	21.121	-5.0	16.217	0.00
8M5	21.113	-5.0	16.304	0.00
8M4	21.062	-5.0	16.744	0.00
8M10	21.113	-5.0	17.472	-0.05
8M7	21.057	-5.0	19.880	-0.05

Tabla 4.8.1. Valores máximos y mínimos de la clorinidad (‰) para el muestreo 8.

En la figura 4.8.4 se representan los perfiles obtenidos en cada una de las estaciones provenientes de la toma de muestras mediante el SWAS, que nos aportan una gran precisión en la capa de agua más superficial. Exceptuando la estación ubicada en la misma boca del río (8M1), los menores valores de clorinidad superficiales se localizan en las estaciones situadas hacia el oeste de la desembocadura (8M8 y 8M9) debido al efecto del viento procedente del sur-sureste.

Es de destacar por lo atípico los valores de clorinidad tan elevados que se encuentran en 8M7, por su cercanía tanto a la desembocadura como a una estación (8M2) con valores de clorinidad bastante inferiores, pero es que 8M7 se encuentra en el otro lado del límite de la pluma, en aguas puramente salinas y con poca cantidad de agua dulce/salobre. Además en 8M7 el viento soplaba del sur-sureste, e introduce aguas salinas por superficie, mientras que en 8M2 provenía del suroeste que introduce aguas más dulces. Con esto queda de nuevo patente que la

cercanía a la boca del río no implica necesariamente una mayor influencia fluvial, teniendo bastante importancia las condiciones hidrodinámicas.

En esta misma figura 4.8.4 se aprecia un aumento gradual de la clorinidad al aumentar la profundidad observando los cambios más drásticos en el primer metro de la columna de agua en todas las estaciones, con un par de excepciones que son la de menor y mayor clorinidad (8M1 y 8M7):

- En la estación situada en la desembocadura, 8M1, se aprecia una gran homogeneidad en los 75 cm superiores de la columna de agua, aumentando la clorinidad a mayor profundidad.

- En 8M7 se encuentra un perfil en zigzag en los 30 cm superiores, debido tanto al viento del sur-sureste que introduce agua más salina por superficie como al bajo rango de variación en la clorinidad que provoca que cualquier mínimo cambio en este parámetro tenga gran repercusión.

En la figura 4.8.7 se muestra un corte vertical del transecto formado por las estaciones 8M1, 8M2, 8M6 y 8M5, donde se aprecia que la clorinidad aumenta al hacerlo la profundidad y al alejarnos de la desembocadura.

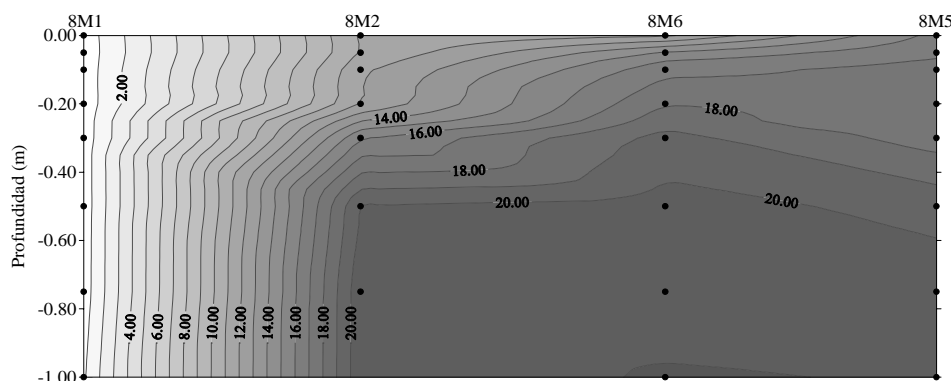


Figura 4.8.7. Perfil vertical de clorinidad (‰) del transecto 8M1-8M5 con datos de las muestras de agua recogidas mediante el SWAS hasta 1.00 m de profundidad.

En la figura 4.8.8 se representa la distribución horizontal a 0.00 m de la clorinidad (‰). Se observa un cierto desplazamiento de la pluma estuarina hacia el norte-noroeste debido al efecto del viento proveniente del sur-sureste (hacia 8M9 y 8M6) que introduce aguas marinas en la zona sureste (en 8M7). A primera

vista puede parecer que existe también un desplazamiento importante en dirección este (hacia 8M3 y 8M4) pero en realidad la distribución espacial deriva de la entrada de agua más salina por las cercanías de 8M7 arrastrada por el viento del sureste.

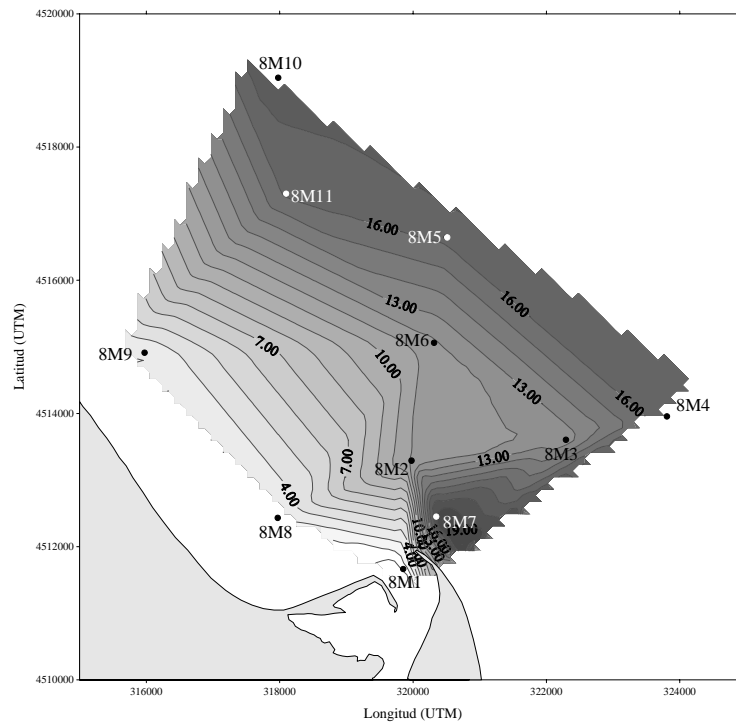


Figura 4.8.7. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a 0.00 m para las 11 estaciones del muestreo 8.

En la figura 4.8.8 se ha representado las distribuciones horizontales a todas las profundidades, donde la de 5.0 m posee escala diferente.

- Al igual que ocurre en otros muestreos, las distribuciones en las capas más superficiales son muy similares, en este caso hasta 10 cm de profundidad, observando un desplazamiento del agua dulce/salobre hacia el norte-noroeste debido al efecto del viento procedente del sur-sureste.

- A partir de esta profundidad la influencia del viento es menor y las diferencias en la clorinidad entre las diferentes estaciones también, con lo que en estas distribuciones ya no llega a observarse tanto dicho desplazamiento, sino tan sólo una zona de menor salinidad en las proximidades de 8M1.

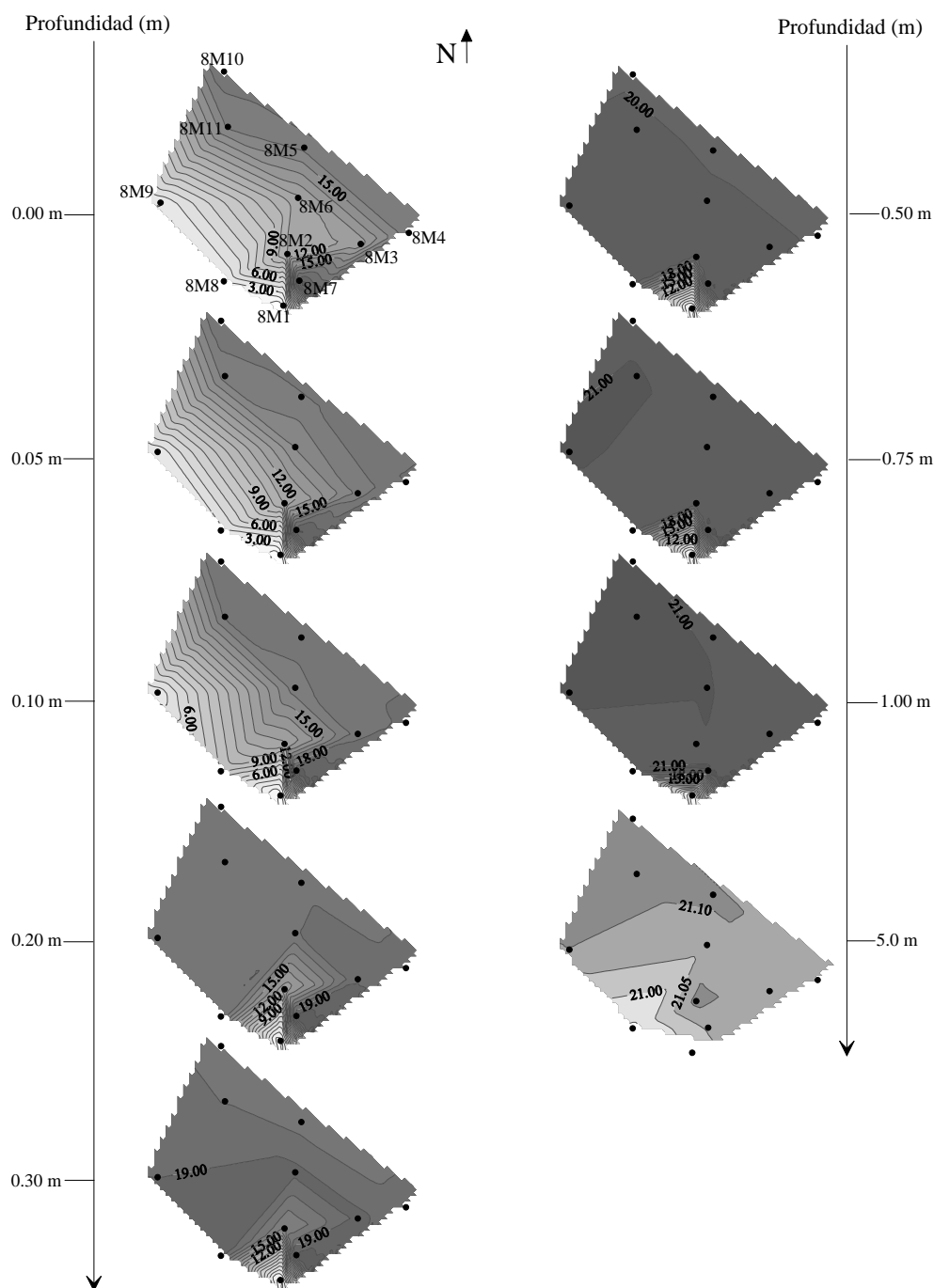


Figura 4.8.8. Distribución horizontal de clorinidad (‰) a todas las profundidades en el muestreo 8. (La distribución a la profundidad de 5.0 m posee escala diferente).

4.8.3.- Amonio

La concentración de este nutriente posee un rango de variación algo mayor que en el muestreo anterior, desde un máximo de $10.4 \mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 8M9 a la profundidad de 0.00 m, hasta un mínimo inferior a $0.1 \mu\text{mol/L}$ en la mayoría de estaciones a las mayores profundidades. En la tabla 4.8.2 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
8M1	8.5	-1.00	7.4	0.00
8M8	8.4	0.00, -0.05	<0.1	-5.0
8M9	10.4	0.00	0.1	-5.0
8M2	3.6	-0.05	<0.1	-5.0
8M6	3.0	0.00	0.2	-1.00
8M3	3.3	0.00	<0.1	-5.0
8M11	1.7	0.00, -0.05	<0.1	-1.00, -5.0
8M5	1.7	0.00	0.1	-0.75
8M4	2.1	-0.10	<0.1	-1.00, -5.0
8M10	1.5	-0.10	<0.1	-1.00, -5.0
8M7	1.0	-0.05	<0.1	-1.00

Tabla 4.8.2. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de amonio en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

Los mayores valores se encuentran en las estaciones de mayor influencia continental (8M1, 8M8 y 8M9), disminuyendo las concentraciones conforme lo hace ésta. En cada una de las estaciones los máximos se suelen localizar en las capas más superficiales y los mínimos en las más profundas, excepto en la estación de mayor influencia continental 8M1 donde esta pauta se invierte aunque las variaciones no son significativas.

En la figura 4.8.9 se representa la distribución superficial de este nutriente, donde se aprecia una progresiva disminución de las concentraciones al hacerlo la influencia continental. Igual que se observaba en la clorinidad, se aprecia un cierto desplazamiento de esta pluma fluvial en dirección norte-noroeste por el efecto del viento, aunque los bajos valores encontrados en 8M7 nos modifica de manera importante esta distribución, pareciendo que existe un desplazamiento hacia 8M3 que no es más que una entrada de agua más salina en las cercanías de 8M7 por efecto del viento del sureste, como ya se comentó anteriormente.

En la figura 4.8.10 se muestra la distribución vertical obtenida en el transecto 8M1-8M5. Igual que ocurría en el muestreo anterior, y a diferencia de los realizados en primavera, verano y otoño, se aprecia una pauta de disminución

de las concentraciones tanto al desplazarnos hacia las estaciones situadas más al norte como al disminuir la profundidad. Pero se encuentra algunas desviaciones de la pauta general de disminución con la profundidad en las capas más superficiales, como posteriormente veremos.

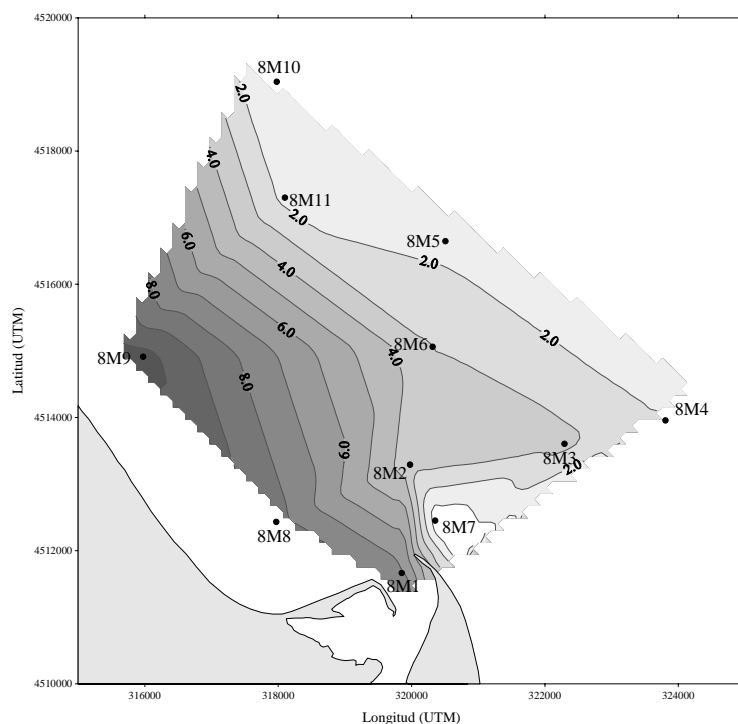


Figura 4.8.9. Distribución superficial de amonio ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 8.

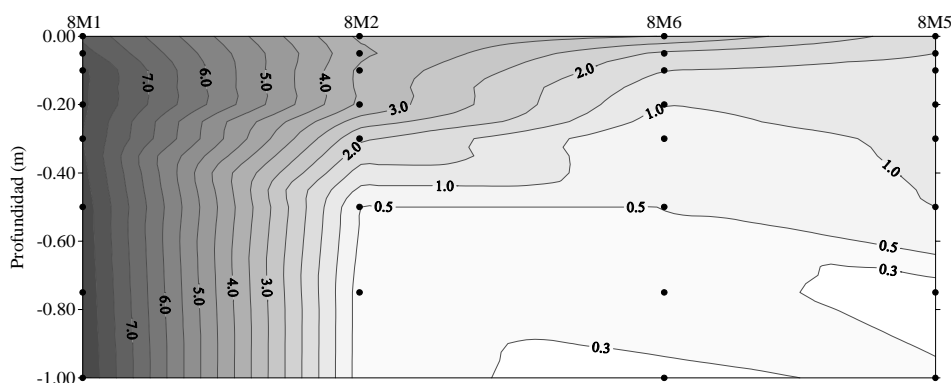


Figura 4.8.10. Distribución vertical de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

En la figura 4.8.11 se representa los perfiles encontrados en cada una de las estaciones. En todas las estaciones, excepto en 8M1, la concentración existente a 5.0 m de profundidad es menor que la de 0.00 m. Al contrario de lo que ocurre en la mayoría de muestreos, en éste sí que se aprecia una disminución gradual al aumentar la profundidad en la mayoría de estaciones debido a los altos valores encontrados.

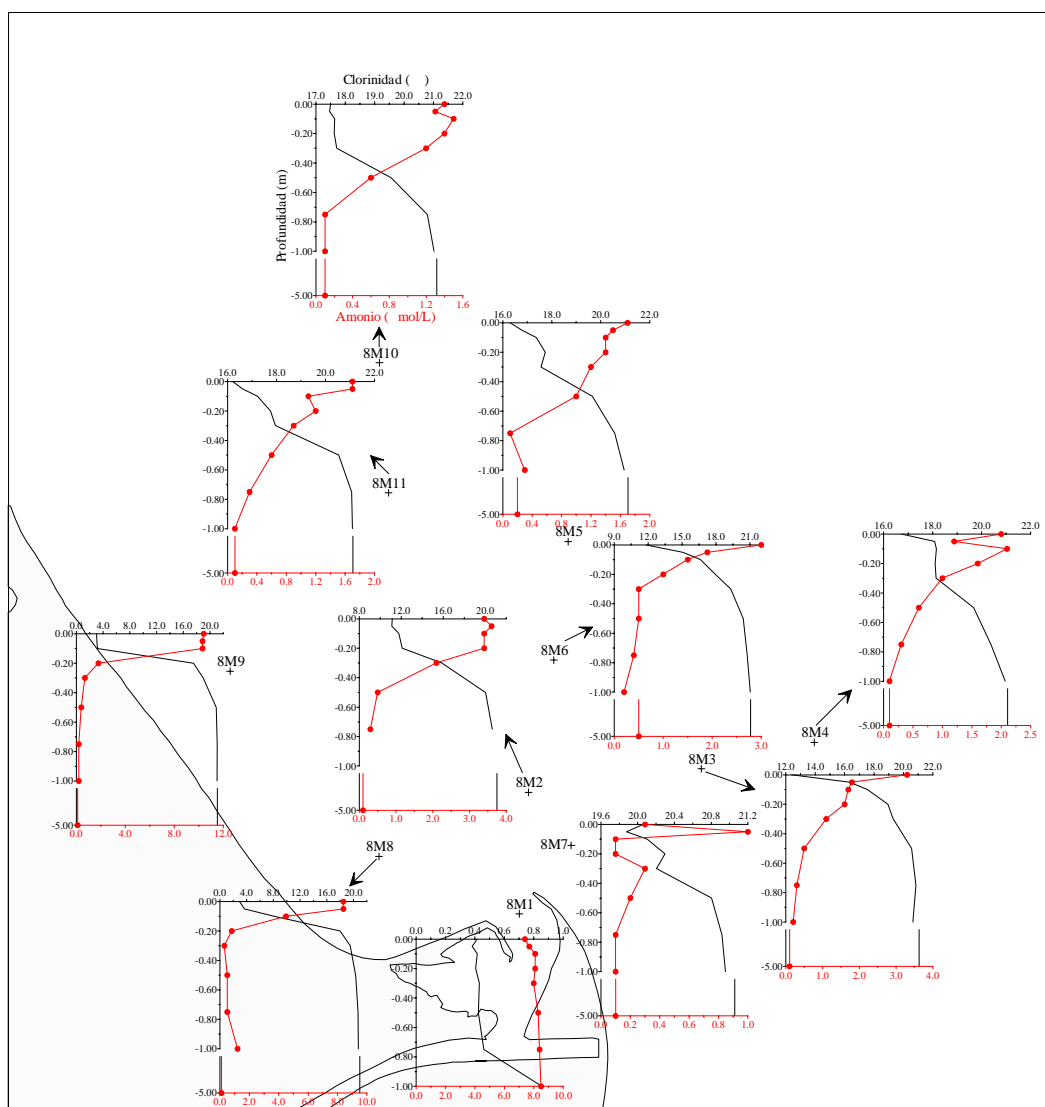


Figura 4.8.11. Perfiles verticales de amonio. Muestreo 8.

Se observan desviaciones en algunas estaciones. En las de mayor influencia continental (8M1, 8M8 y 8M9) son de resaltar los valores casi constantes en los primeros centímetros de 8M8 y 8M9 y en toda la columna de agua de 8M1, constancia que también se da en la clorinidad. Solamente se aprecian pequeñas desviaciones en 8M1 en los primeros 10 cm probablemente achacables al movimiento y actividad planctónica, y en 8M8 a una profundidad de 1.00 m que podría deberse a algún proceso de exudación fitoplanctónica, amonificación y/o excreción de heterótrofos. En el resto de estaciones, que poseen menor influencia fluvial, se aprecian desviaciones en las capas más superficiales de 8M2, 8M11, 8M4, 8M10 y 8M7 probablemente debidas al movimiento y actividad planctónica, y en otras más profundas de 8M6 y 8M5 debidas a algún proceso de exudación fitoplanctónica, amonificación y/o excreción de heterótrofos. Estas desviaciones

de la pauta general tienen su reflejo en el comportamiento de este nutriente provocando algunas ganancias, como se observa en la figura 4.8.12 donde se representa el comportamiento del amonio en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones.

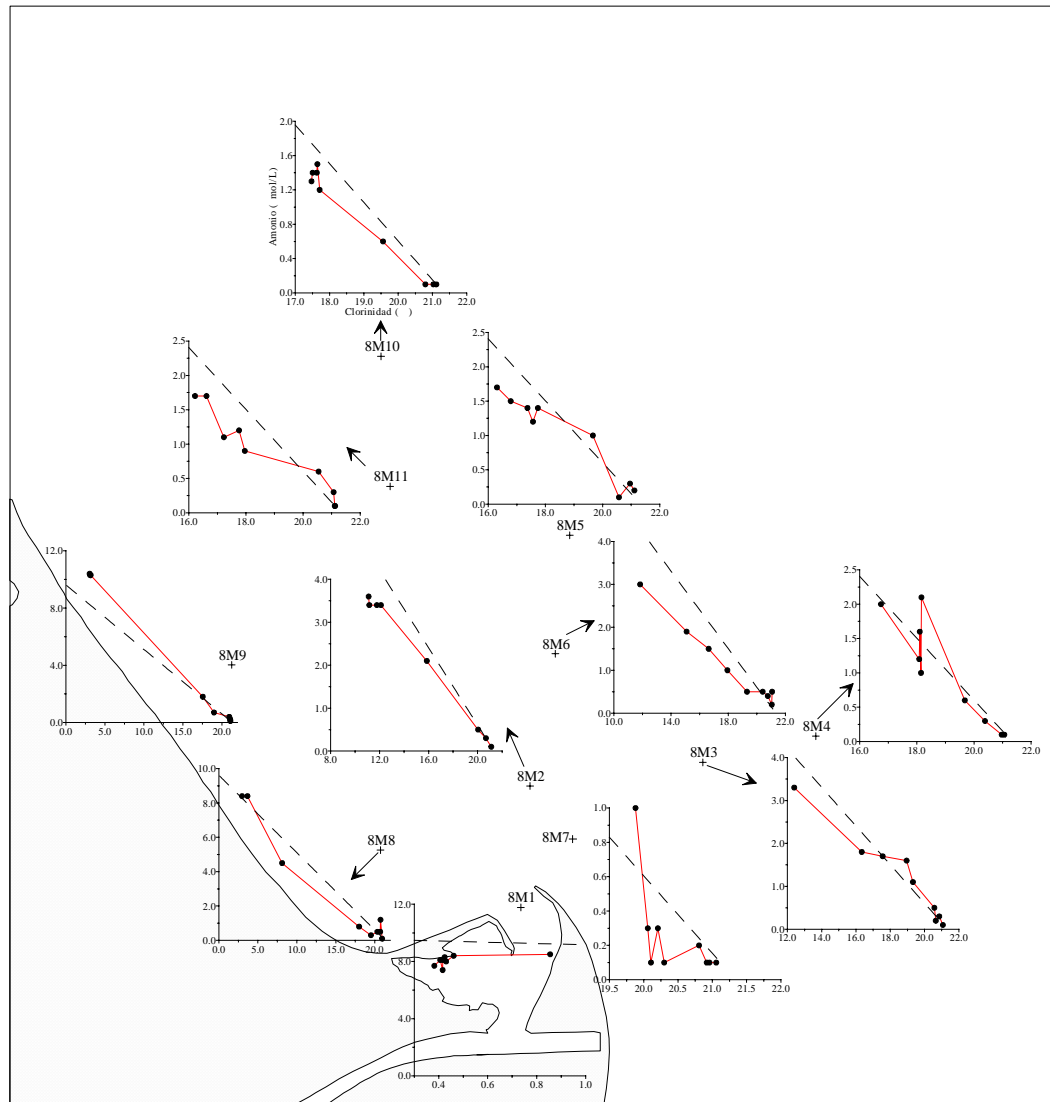


Figura 4.8.12. Comportamiento del amonio en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

En todas ellas, excepto en 8M1 en la que permanece aproximadamente constante, se aprecia una disminución de amonio al aumentar la clorinidad. En la mayoría de estaciones el comportamiento general es de pérdidas en todo el rango de clorinidad, debidas probablemente a la predominancia de procesos como la absorción fitoplanctónica y bacteriana y a la nitrificación. De todas maneras, existen algunas estaciones en las que se puede apreciar ganancias en algunos puntos de la columna de agua en zonas de menor clorinidad (8M9 y 8M7), en zonas intermedias (8M5 y 8M4) y en las más profundas y salinas (8M8, 8M6,

8M3, 8M11 y 8M5), probablemente debidas a la predominancia de las exudaciones fitoplanctónicas, la amonificación y las excreciones de los heterótrofos, como ya se ha comentado en anteriores muestreos.

En la figura 4.8.13 se muestra el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina, donde se aprecia que el comportamiento general es de pérdidas en todo el rango de clorinidad, achacadas a la alta absorción por las comunidades fitoplanctónicas y bacterianas y a la nitrificación. Pero en algunas zonas se pueden observar ligeras ganancias probablemente debidas a la amonificación, excreción heterótrofa y exudación autótrofa. Éstas se dan en el rango de clorinidad entre 3 y 4‰ debido a los aumentos que se producían en 8M8 y 8M9, y en la capa de mayor clorinidad debido a los que se encontraban en 8M8, 8M6, 8M3, 8M11 y 8M5, aunque son de menor magnitud que los que se producían en el muestreo anterior.

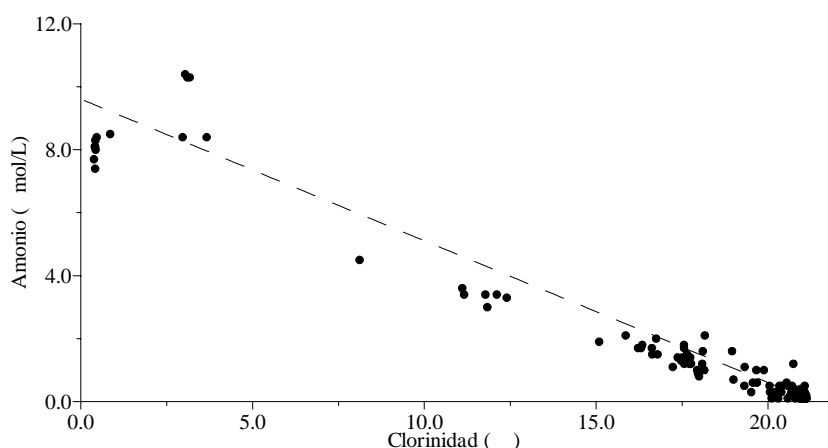
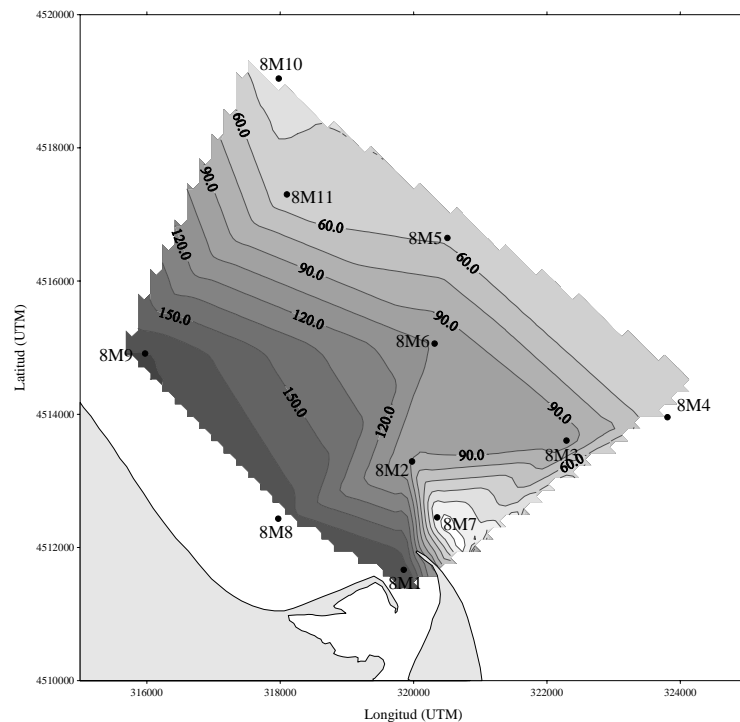


Figura 4.8.13. Comportamiento del amonio en la pluma estuarina. Muestreo 8.

4.8.4.- Nitrato

La concentración de este nutriente varía en un rango similar al del muestreo anterior, desde un máximo de 204.5 $\mu\text{mol/L}$ localizado a 0.50 m en la estación 8M1 hasta un mínimo de 1.2 $\mu\text{mol/L}$ en 8M9 a 1.00 y 5.0 m y en 8M11 a 1.00 m de profundidad. En la tabla 4.8.3 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo y las profundidades a las que corresponden estos valores. Se observa, como en todos los muestreos anteriores, la gran influencia de los aportes fluviales sobre este nutriente. Las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de menor salinidad y por consiguiente mayor influencia continental (8M1, 8M8 y 8M9) y en todas ellas

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
8M1	204.5	-0.50	114.8	-0.30
8M8	173.8	0.00	1.9	-5.0
8M9	181.3	0.00	1.2	-1.00, -5.0
8M2	97.0	-0.05	1.7	-5.0
8M6	103.7	0.00	1.8	-5.0
8M3	99.7	0.00	2.6	-5.0
8M11	50.5	-0.05	1.2	-1.00
8M5	57.3	0.00	2.1	-5.0
8M4	48.5	0.00	2.7	-5.0
8M10	40.3	0.00	1.3	-5.0
8M7	14.5	-0.05	2.0	-5.0



En ésta se observa, como ocurre con la clorinidad y el amonio, un cierto desplazamiento de la pluma fluvial en dirección norte-noroeste por las razones ya apuntadas. Como ya se indicó anteriormente, el bajo valor encontrado en 8M7 nos modifica de manera importante esta distribución.

La distribución vertical en el transecto 8M1-8M5 se muestra en la figura 4.8.15.

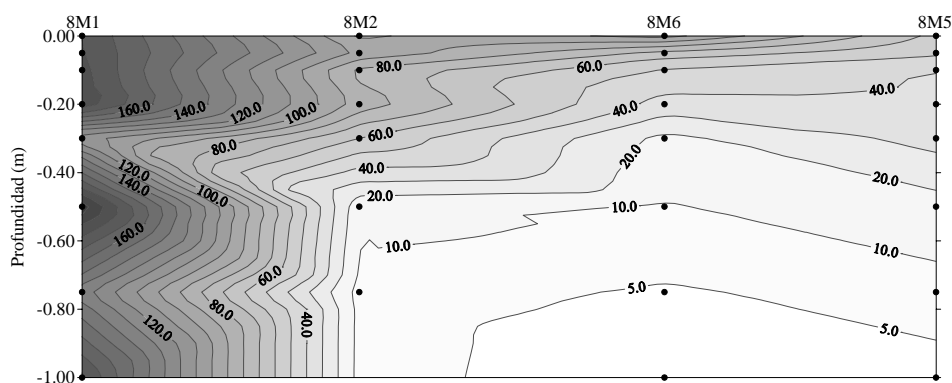


Figura 4.8.15. Distribución vertical de nitrato ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

En esta figura se aprecia que las concentraciones van disminuyendo al alejarnos de la boca del río y al aumentar la profundidad, aunque con diversas desviaciones en las estaciones 8M1 y 8M2 que posteriormente detallaremos.

En la figura 4.8.16 se muestra los perfiles obtenidos en cada una de las estaciones, donde se observan con más detalle estas desviaciones ya comentadas en 8M1 y 8M2 y algunas otras. En general el nitrato disminuye al aumentar la profundidad en todas las estaciones, aunque en algunas de ellas encontramos diversas variaciones de esta pauta:

- Unas se producen en las capas más superficiales (en los 30 cm superiores) de algunas de las estaciones (8M2, 8M11, 8M4 y 8M7)
- Otras tienen lugar en toda la columna de agua de 8M1.

Estas desviaciones probablemente son debidas a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica, a la amonificación y/o a las variaciones que se producían también en la clorinidad (como es el caso de la estación 8M7).

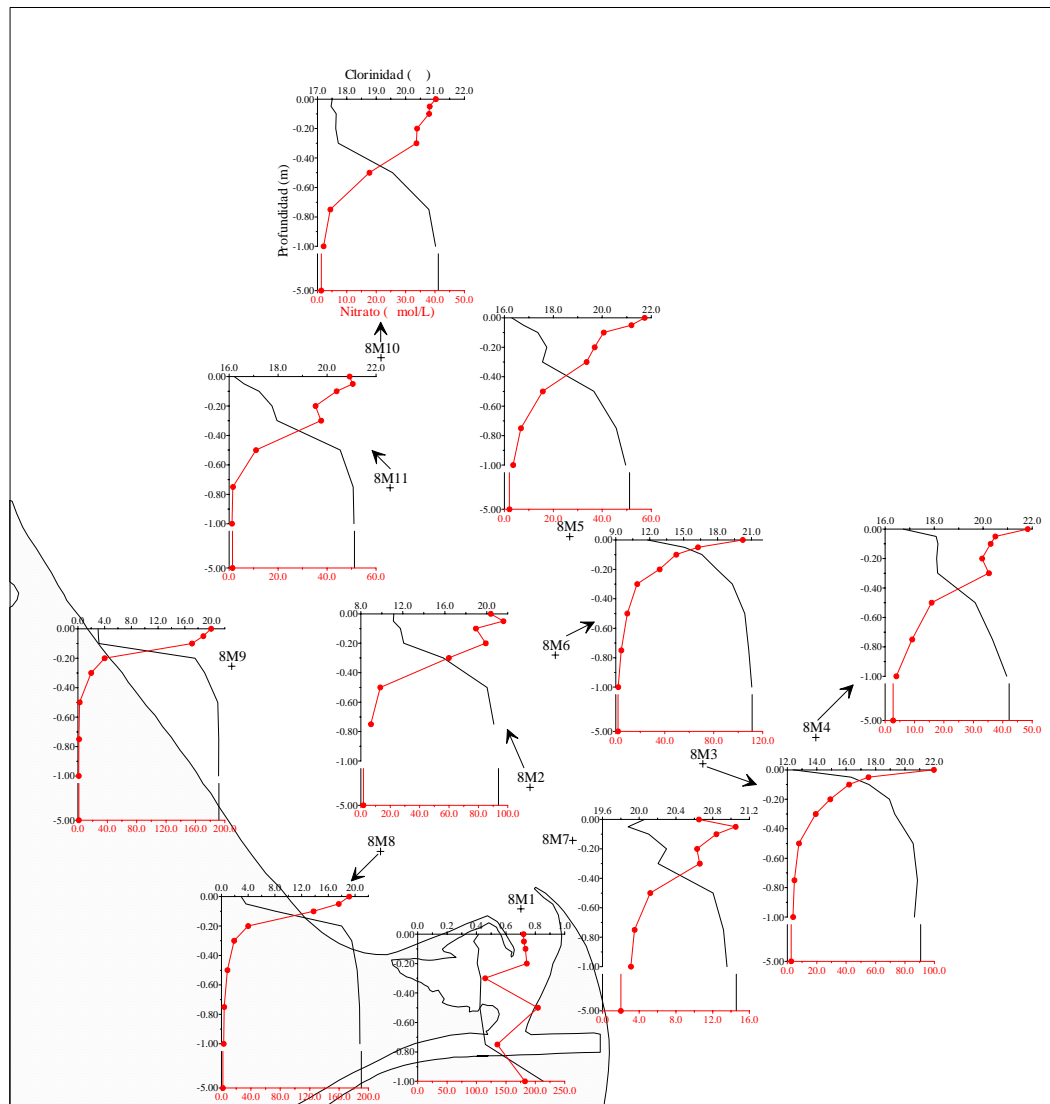


Figura 4.8.16. Perfiles verticales de nitrato. Muestreo 8.

En la figura 4.8.17 se muestra el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones. En todas ellas, excepto en 8M1, la concentración disminuye gradualmente al aumentar la clorinidad. En la mayoría de las estaciones esta disminución es bastante lineal, con lo que el nitrato se comporta de manera aproximadamente conservativa. De todas maneras se encuentran algunas ligeras ganancias probablemente debidas a la nitrificación. En esta figura 4.8.17 también se observa, como ya se comentó anteriormente, una disminución de las concentraciones de nitrato en las capas de menor clorinidad de algunas estaciones (8M1, 8M2, 8M11, 8M4 y 8M7) debido probablemente a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica.

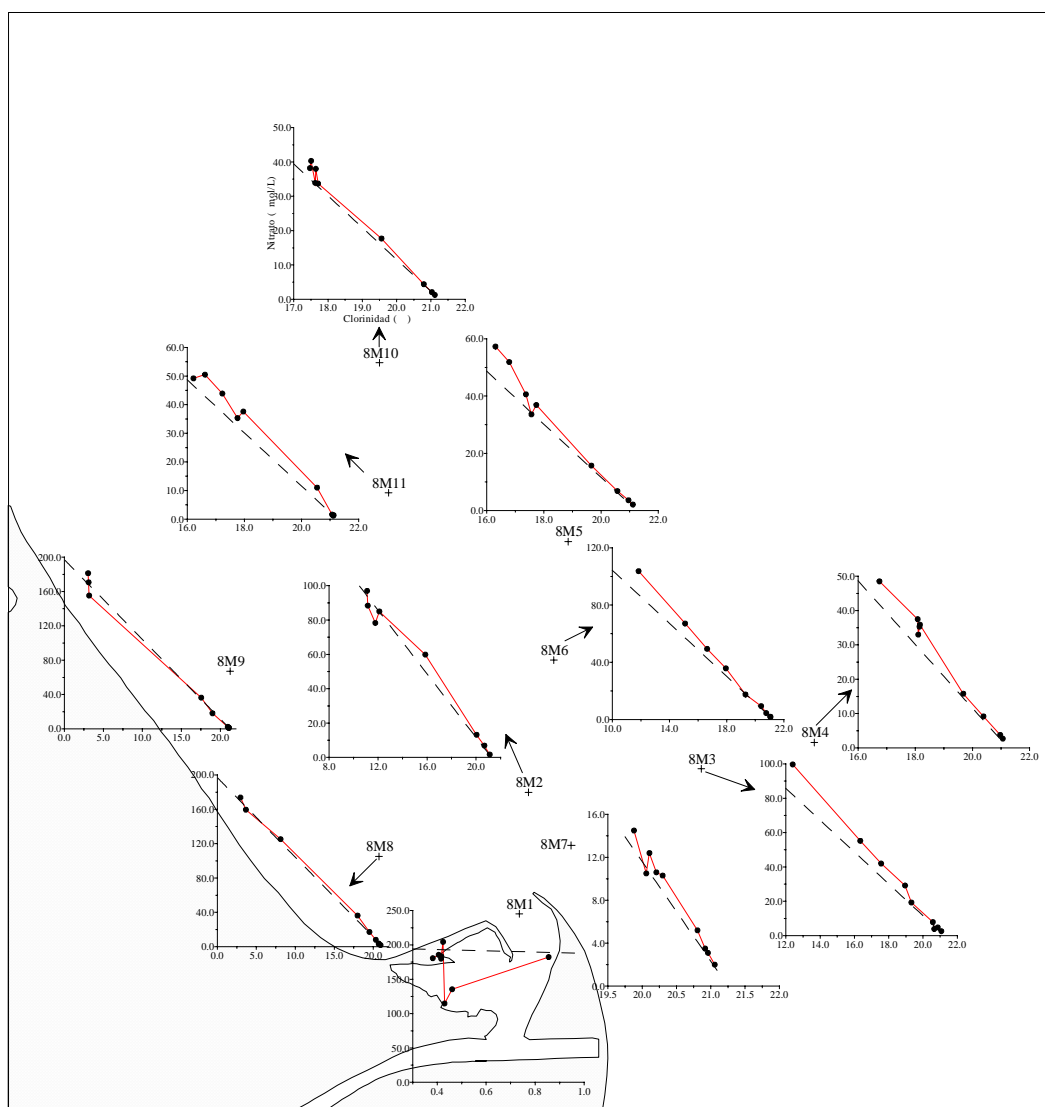


Figura 4.8.17. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

En la figura 4.8.18 se representa el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina.

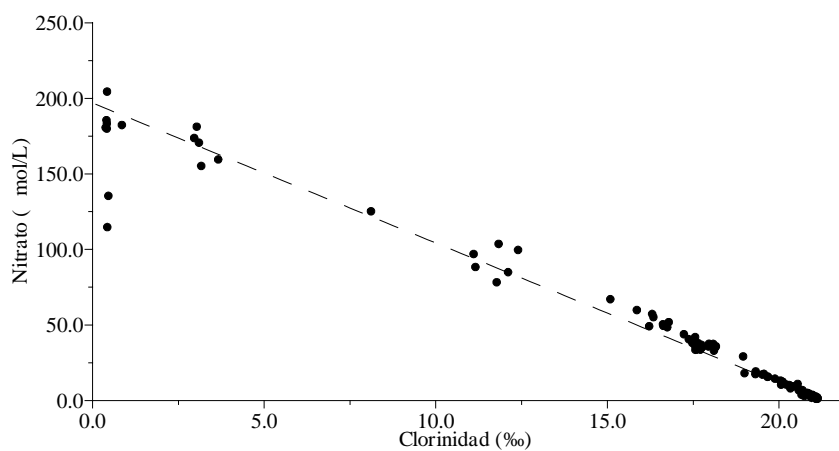


Figura 4.8.18. Comportamiento del nitrato en la pluma estuarina. Muestreo 8.

En general se aprecia un comportamiento aproximadamente conservativo, aunque con ligeras ganancias. Además se observan algunas pérdidas en las capas de menor clorinidad que pueden achacarse, a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica. En esta figura 4.8.19 queda patente lo que ya se ha comentado en múltiples ocasiones, la problemática de la elección de la línea de mezcla ideal. En esta figura se observa ligeras ganancias en algunos puntos en todo el rango de clorinidad, que posiblemente no sean tales. De hecho podemos ver la gran linealidad que muestran los puntos más salinos (de 15 a 22‰), con lo que es probable que esta línea ideal mostrada no sea del todo correcta y realmente tenga una mayor pendiente. Así las ganancias antes comentadas estarían más bien sobre la línea de mezcla y el comportamiento general sería conservativo con algunas pérdidas en las zonas dulces y salobres.

4.8.5.- Nitrito

El rango de variación en este muestreo es similar al anterior, aunque en éste el valor mínimo es inferior a 0.01 $\mu\text{mol/L}$ y se localiza en 8M8, 8M9 y 8M7 a las mayores profundidades. El máximo es de 3.25 $\mu\text{mol/L}$ en la estación 8M1 a 0.00 m de profundidad. En la tabla 4.8.4 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
8M1	3.25	0.00	2.73	-1.00
8M8	2.48	0.00	<0.01	-0.75, -5.0
8M9	2.55	-0.05	<0.01	0.75, -1.00, -5.0
8M2	1.43	0.00	0.05	-5.0
8M6	1.42	0.00	0.06	-1.00
8M3	1.33	0.00	0.09	-5.0
8M11	0.69	0.00	0.02	-1.00
8M5	0.68	0.00	0.10	-5.0
8M4	0.66	0.00	0.08	-5.0
8M10	0.56	0.00	0.11	-5.0
8M7	0.24	-0.05	<0.01	-5.0

Tabla 4.8.4. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de nitrito en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

Al igual que ocurre en los anteriores muestreos, es en superficie y en las estaciones de mayor influencia continental (8M1, 8M8 y 8M9) donde se localizan las mayores concentraciones. Éstas van disminuyendo conforme las aguas se vuelven más salinas, al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad. Así, y como se observa en esta tabla 4.8.4, en cada una de las estaciones las concentraciones máximas se encuentran en superficie y las mínimas a las mayores profundidades.

La distribución horizontal a 0.00 m de profundidad se muestra en la figura 4.8.19, donde se observa, como ocurría con la clorinidad, el esperado desplazamiento de la pluma estuarina en dirección norte-noroeste por el efecto del viento, aunque el menor valor de 8M7 enmascara en cierto modo este desplazamiento.

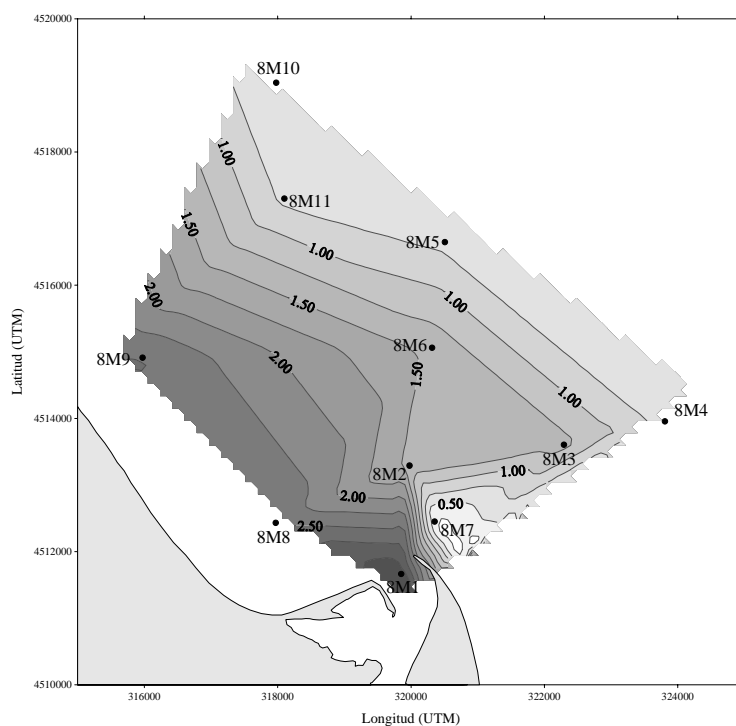


Figura 4.8.19. Distribución superficial de nitrato ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 8.

En la figura 4.8.20 se muestra la distribución vertical para el transecto 8M1-8M5, donde vemos que la concentración de nitrato va disminuyendo gradualmente al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad, encontrando solamente alguna pequeña desviación de esta pauta en la estación 8M1.

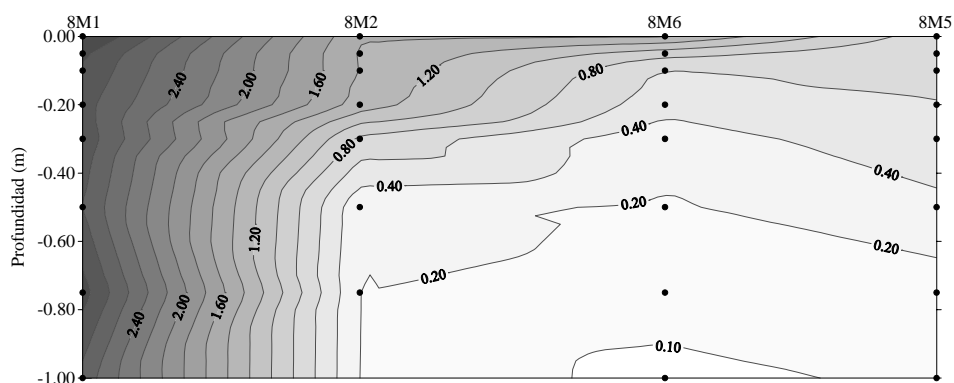


Figura 4.8.20. Distribución vertical de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

En la figura 4.8.21 se han representado los perfiles verticales en cada una de las estaciones.

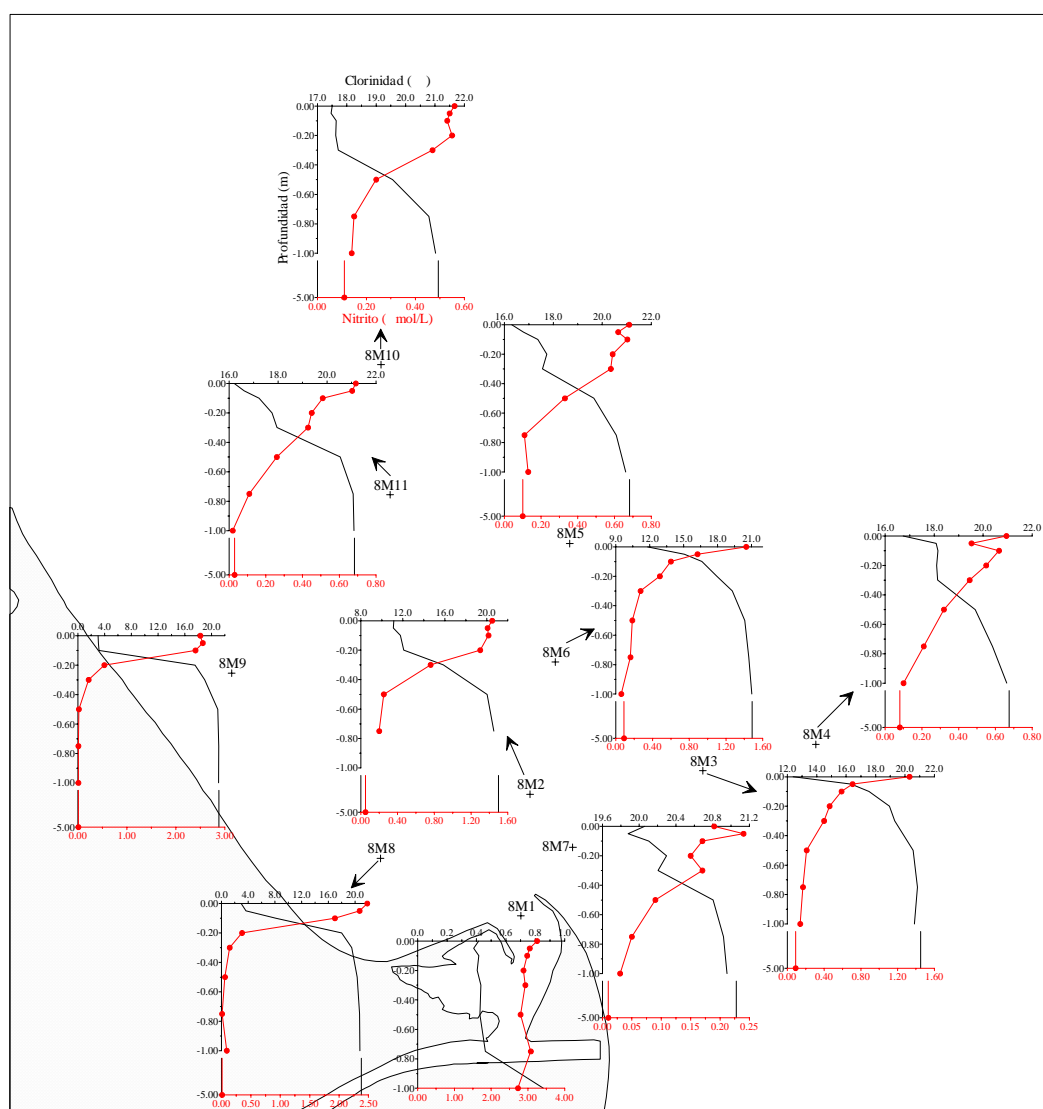


Figura 4.8.21. Perfiles verticales de nitrito. Muestreo 8.

La concentración disminuye al aumentar la profundidad, encontrando ligeras desviaciones de esta pauta general en las estaciones de menor influencia

fluvial (8M5, 8M4, 8M10 y 8M7) en las capas más superficiales (hasta 30 cm de profundidad), algunas de las cuales se deben a variaciones en la clorinidad y otras probablemente a la absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación. En cambio, en la estación de mayor influencia continental, 8M1, la constancia encontrada en la clorinidad en los primeros 75 cm de la columna tiene su reflejo en una mínima variación de las concentraciones de nitrato.

En la figura 4.8.22 se representa el comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones. En general, y como ocurría en anteriores muestreos, en todas las estaciones el nitrato disminuye linealmente con la clorinidad, comportándose de manera bastante conservativa en todas las estaciones, y llegando a valores cercanos al agotamiento sólo en tres estaciones (8M8, 8M9 y 8M7).

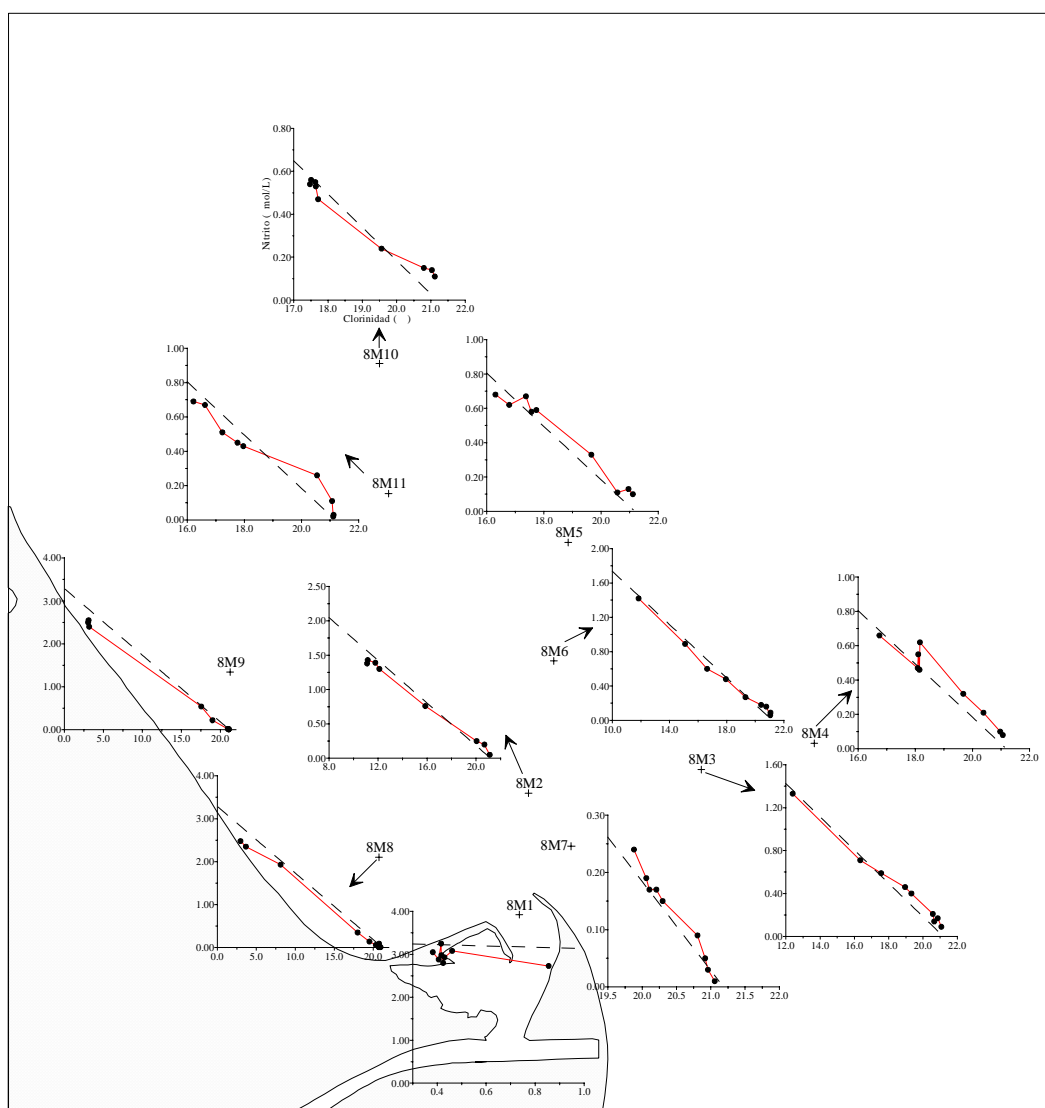


Figura 4.8.22. Comportamiento del nitrato en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

Se aprecian ligeras pérdidas en las zonas de menor clorinidad de algunas estaciones (8M1, 8M8, 8M9, 8M11, 8M5 y 8M10) achacables a la absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación y ligeras ganancias en las capas más salinas de 8M3, 8M11, 8M5, 8M4, 8M10 y 8M7 que podrían deberse a un proceso de exudación autótrofa y/o a la nitrificación de amonio. Este mismo comportamiento casi conservativo con ligeras pérdidas en la zona de menor clorinidad (hasta 4‰) se observa también en la figura 4.8.23.

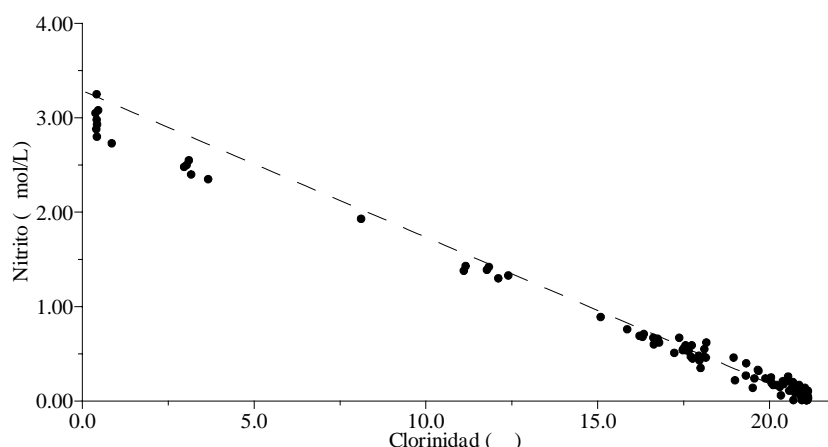


Figura 4.8.23. Comportamiento del nitrito en la pluma estuarina. Muestreo 8.

4.8.6.- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

En la tabla 4.8.5 puede observarse los máximos y mínimos que se obtuvieron en las distintas estaciones de muestreo.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID (μmol/L)	Profundidad (m)	NID (μmol/L)	Profundidad (m)
8M1	215.6	-0.50	125.7	-0.30
8M8	184.7	0.00	2.0	-5.0
8M9	194.2	0.00	1.3	-5.0
8M2	102.0	-0.05	1.9	-5.0
8M6	108.1	0.00	2.3	-1.00
8M3	104.3	0.00	2.8	-5.0
8M11	52.9	-0.05	1.3	-1.00
8M5	59.7	0.00	2.4	-5.0
8M4	51.2	0.00	2.9	-5.0
8M10	42.3	0.00	1.5	-5.0
8M7	15.7	-0.05	2.1	-5.0

Tabla 4.8.5. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de NID en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

La concentración máxima de NID es de $215.6 \mu\text{mol/L}$ y se localiza en la estación 8M1 a 0.50 m de profundidad, mientras que el mínimo es de $1.3 \mu\text{mol/L}$ en 8M9 a 5.0 m y en 8M11 a 1.00 m. Como era de esperar por la importancia de los aportes continentales, las mayores concentraciones de NID se localizan en las estaciones de mayor influencia fluvial (8M1, 8M8 y 8M9), disminuyendo al hacerlo ésta. En todas las estaciones, excepto en 8M1 por las mismas razones comentadas para el nitrato, los máximos se encuentran en las capas más superficiales y los mínimos en las capas más profundas.

Los perfiles encontrados en cada una de las estaciones se muestran en la figura 4.8.24.

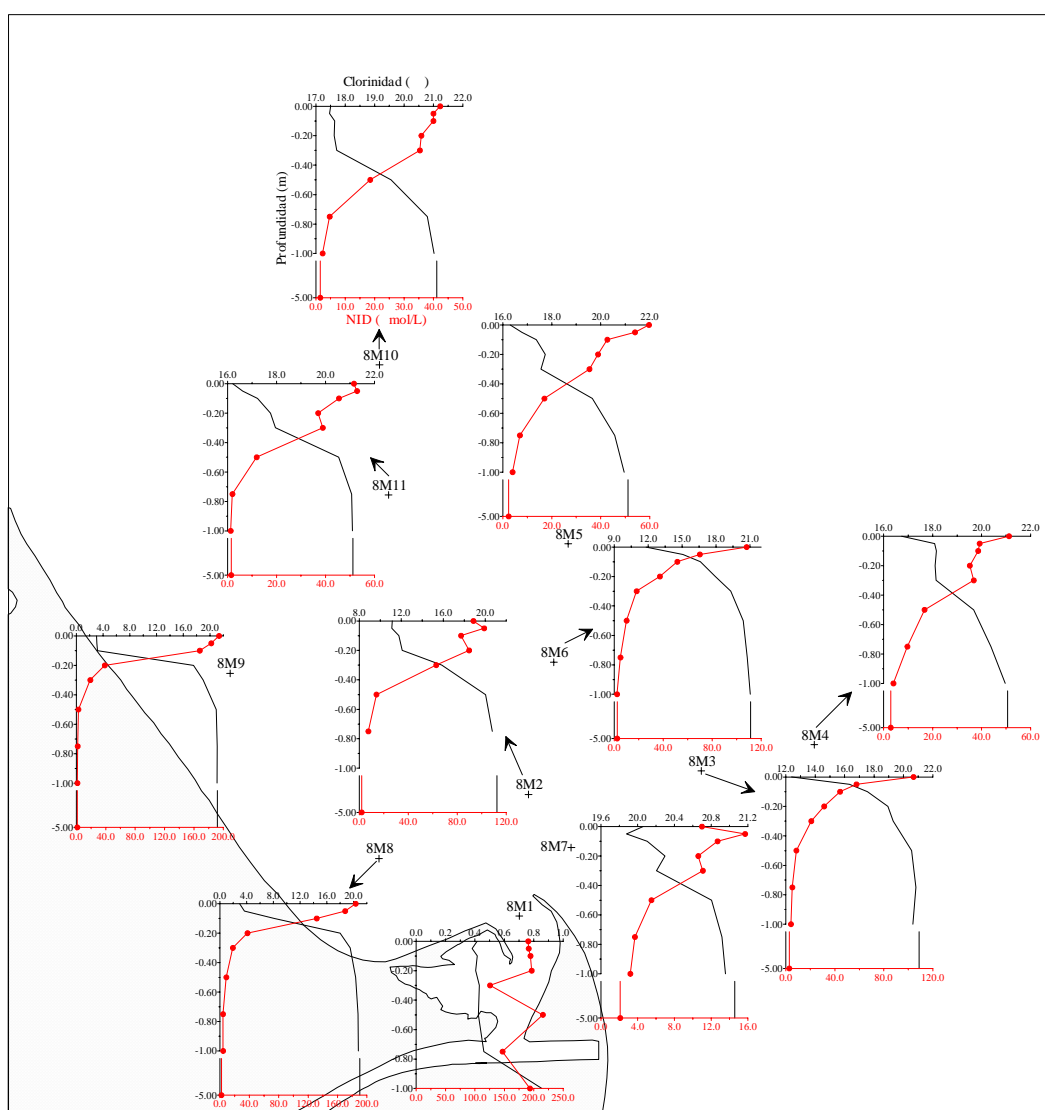


Figura 4.8.24. Perfiles verticales de NID. Muestreo 8.

Se observa la esperada disminución de la concentración al aumentar la profundidad. Como ocurre en anteriores muestreos, y debido a las mayores concentraciones de nitrato sobre amonio y nitrito, estos perfiles son idénticos a los del nitrato (figura 4.8.16) en todas las estaciones, con lo que las explicaciones dadas en su momento son válidas también para el NID.

En la figura 4.8.25 se muestra el comportamiento del NID en cada una de las estaciones.

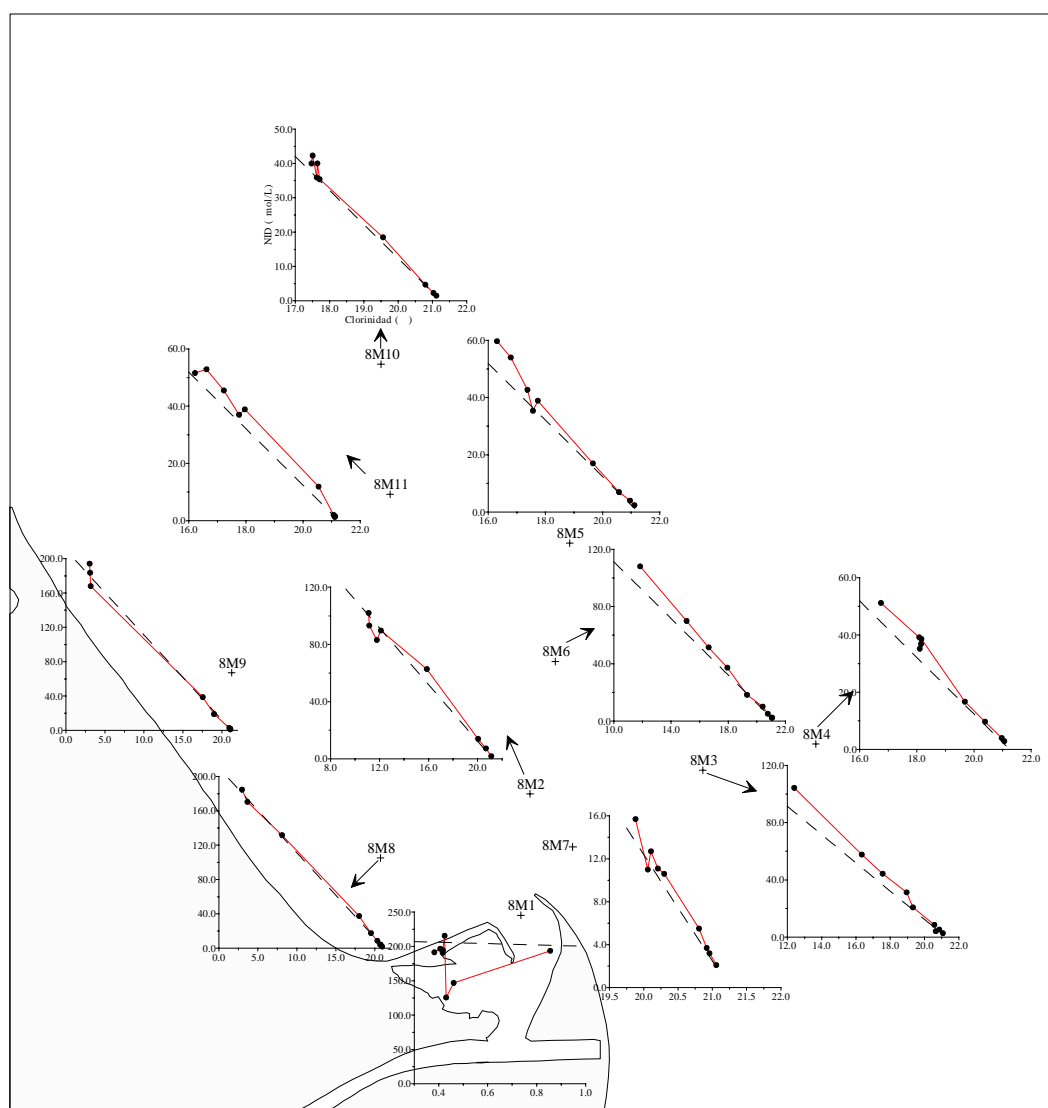


Figura 4.8.25. Comportamiento del NID en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

Como era de esperar, en todas ellas, excepto en 8M1, la concentración de NID disminuye gradualmente con la clorinidad. En la mayoría de las estaciones, y como ya se ha indicado para el nitrato, el NID se comporta de manera aproximadamente conservativa, encontrándose algunas ligeras ganancias en la

mayoría de estaciones que podrían deberse a la amonificación, excreción heterótrofa y/o exudación autótrofa. En esta figura 4.8.26 también se observa una disminución de las concentraciones de NID en las capas de menor clorinidad de algunas estaciones (8M1, 8M9, 8M2 y 8M7) debido probablemente a la absorción por parte de la comunidad planctónica. Pero como ya se comentó para el nitrato en el apartado anterior, la línea de mezcla ideal representada en esta figura 4.8.25, y también en la figura 4.8.26 como luego veremos, posiblemente sea errónea si nos fijamos en la linealidad de las muestras en algunas de las estaciones (8M8, 8M6 o 8M3). Estas muestras nos indican que la línea de mezcla podría tener una mayor pendiente que la representada, con lo que esas ganancias antes comentadas no serían tales, y el comportamiento general del NID en este muestreo sería similar a los anteriores, con un comportamiento aproximadamente conservativo con algunas pérdidas en las zonas de menor clorinidad debidas probablemente a la absorción planctónica.

En la figura 4.8.26 se representa el comportamiento global de este nutriente en la pluma estuarina. En general se aprecia un comportamiento bastante conservativo, con ligeras ganancias en todo el rango de salinidad y algunas pérdidas en las capas de menor clorinidad que pueden achacarse, como ya comentamos anteriormente, a la absorción por parte de la comunidad planctónica. De todas maneras, como se ha comentado anteriormente por la linealidad de las muestras de mayor clorinidad, es de prever que esta línea de mezcla tenga una mayor pendiente, con lo que el comportamiento sería bastante conservativo con pérdidas en las zonas de menor clorinidad.

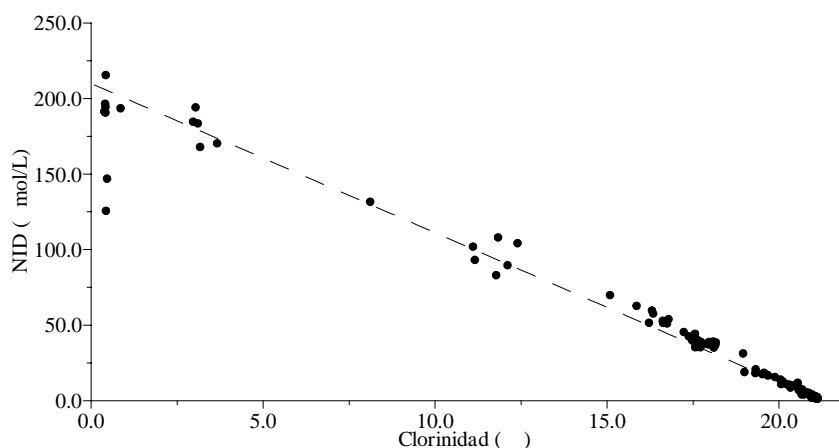


Figura 4.8.26. Comportamiento del NID en la pluma estuarina. Muestreo 8.

4.8.7.- Fósforo Soluble Reactivo (PSR)

En la tabla 4.8.6 se muestra los datos de fósforo que han sido desechados al no cumplirse que la concentración de PSR sea menor o igual que la de PDT y ésta menor o igual que la de PT.

Muestras	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	PT ($\mu\text{mol/L}$)
8M4-0.00	0.39	0.48	<u>0.40</u>
8M7-5.00	<0.03	<u>0.06</u>	<0.03
8M8-0.75	<0.03	<u>0.08</u>	<0.03
8M10-0.00	0.16	0.21	<u>0.17</u>
8M11-0.10	0.18	<u>0.43</u>	<u>0.37</u>
8M11-5.0	0.17	<u>0.14</u>	0.05

Tabla 4.8.6. Valores “anómalos” de PSR, PDT y/o PT durante el muestreo 8.

El rango de variación en este muestreo es bastante inferior al del anterior, desde un máximo de $1.00 \mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 8M9 a 0.05 m , hasta unos mínimos inferiores a $0.03 \mu\text{mol/L}$ en todas las estaciones (excepto 8M1) a diversas profundidades. En la tabla 4.8.7 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PSR ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
8M1	0.94	-0.20	0.37	-1.00
8M8	0.68	-0.10	<0.03	-0.30, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0
8M9	1.00	-0.05	<0.03	-0.20, -0.30, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0
8M2	0.60	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -5.0
8M6	0.53	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
8M3	0.45	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
8M11	0.29	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00
8M5	0.26	0.00	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
8M4	0.39	0.00	<0.03	-0.20, -0.50, -0.75, -1.00, -5.0
8M10	0.17	-0.20	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
8M7	<0.03 a todas las profundidades			

Tabla 4.8.7. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

La importancia de las descargas de origen fluvial queda de nuevo patente en este muestreo, obteniéndose las mayores concentraciones en las estaciones de mayor influencia continental (8M1, 8M8 y 8M9), y disminuyendo conforme lo hace ésta, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento en la estación 8M7 en toda la columna de agua. En cada una de las estaciones los máximos suelen localizarse en superficie (excepto en 8M1 y 8M10) y los mínimos a las mayores profundidades, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento en todas ellas.

La distribución superficial se representa en la figura 4.8.27, donde observamos que, al contrario de lo que ocurre con los formas de nitrógeno ya estudiadas, los mayores valores se localizan más hacia el norte que hacia el noroeste. Esto se debe a los pequeños valores encontrados a 0.00 m en 8M8 y 8M9 por la alta actividad planctónica, como veremos posteriormente.

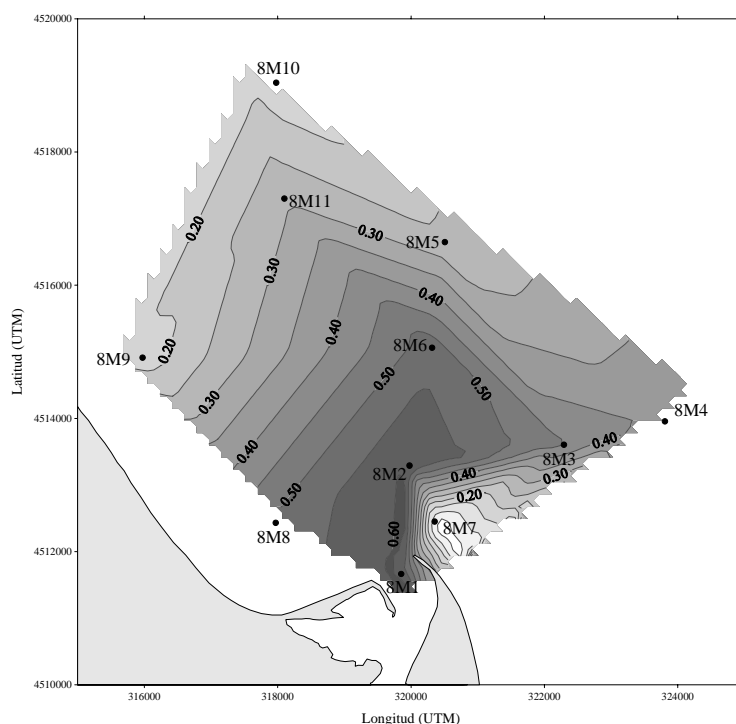


Figura 4.8.27. Distribución superficial de PSR ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 8.

En la figura 4.8.28 se representa un corte vertical del transecto 8M1-8M5, donde se observa la esperada disminución de la concentración al alejarnos de la desembocadura (hacia la estación 8M5) y al aumentar la profundidad, aunque se encuentran desviaciones en la estación de mayor influencia continental 8M1.

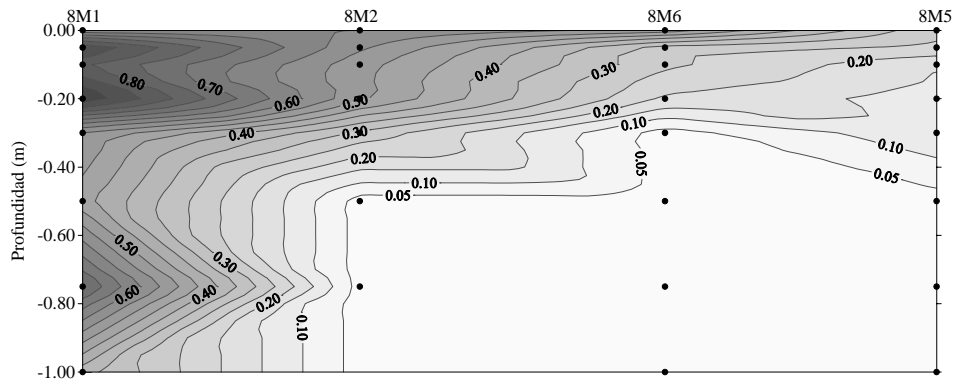


Figura 4.8.28. Distribución espacial de PSR ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

En la figura 4.8.29 se muestra los perfiles obtenidos en cada estación, donde se aprecia que las concentraciones de PSR van disminuyendo gradualmente al aumentar la profundidad, hasta llegar a valores cercanos al agotamiento a profundidades relativamente pequeñas (0.20-0.30 m), excepto en 8M1.

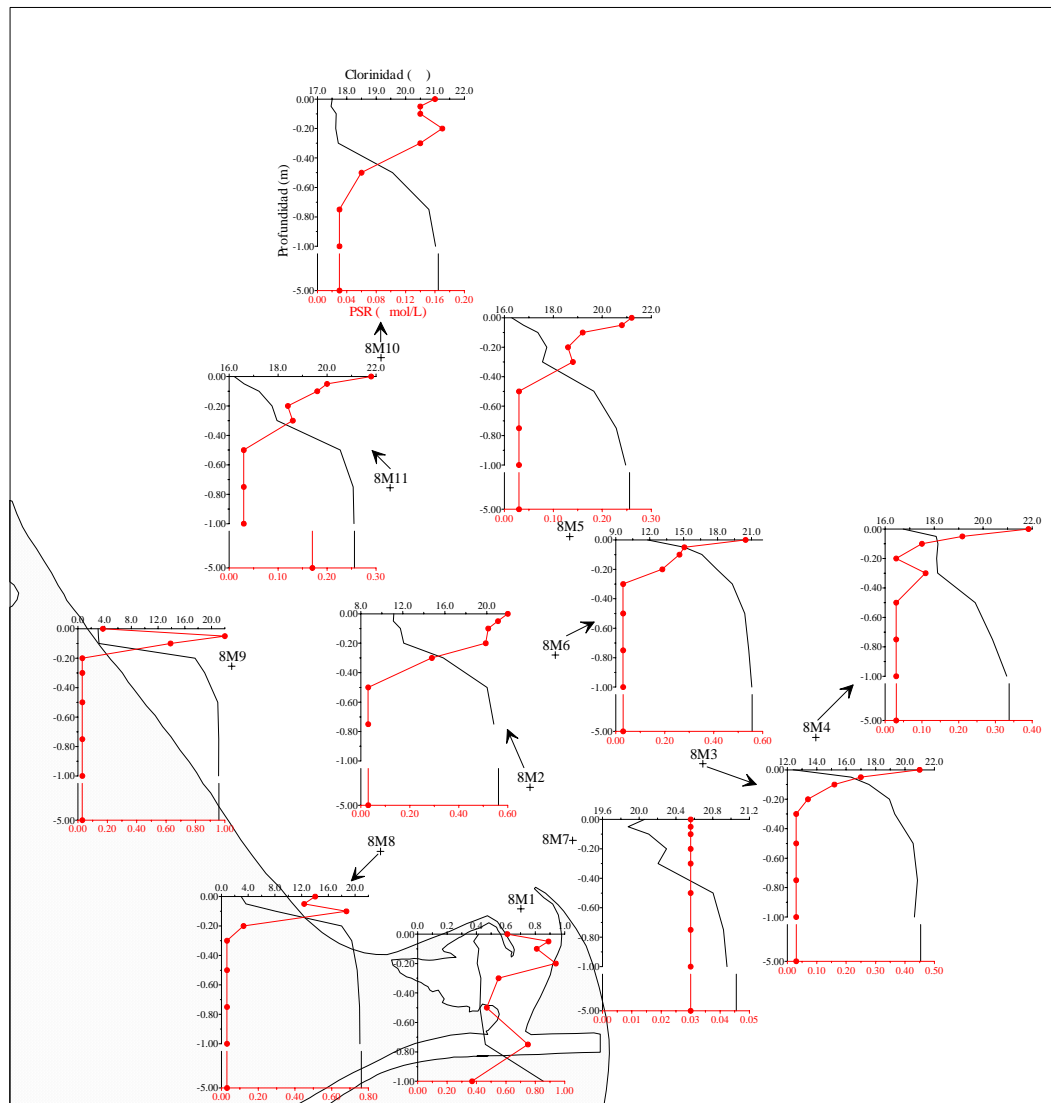


Figura 4.8.29. Perfiles verticales de PSR. Muestreo 8.

En esta figura 4.8.29 se aprecia que en algunas estaciones se encuentran desviaciones de esta pauta general de disminución con la profundidad. Éstas se dan en las capas más superficiales (hasta 30 cm de profundidad) de 8M8, 8M9, 8M11, 8M5, 8M4 y 8M10 debido a una alta actividad biológica y en la más profunda de 8M11 como resultado probablemente de la excreción de autótrofos y heterótrofos. Caso aparte merece la estación de mayor influencia continental, 8M1, donde se aprecian desviaciones en toda la columna de agua, probablemente debido a la gran actividad biológica, unida al movimiento de las comunidades planctónicas y al shock salino.

En la figura 4.8.30 se representa el comportamiento del PSR en el proceso de mezcla en cada una de las estaciones.

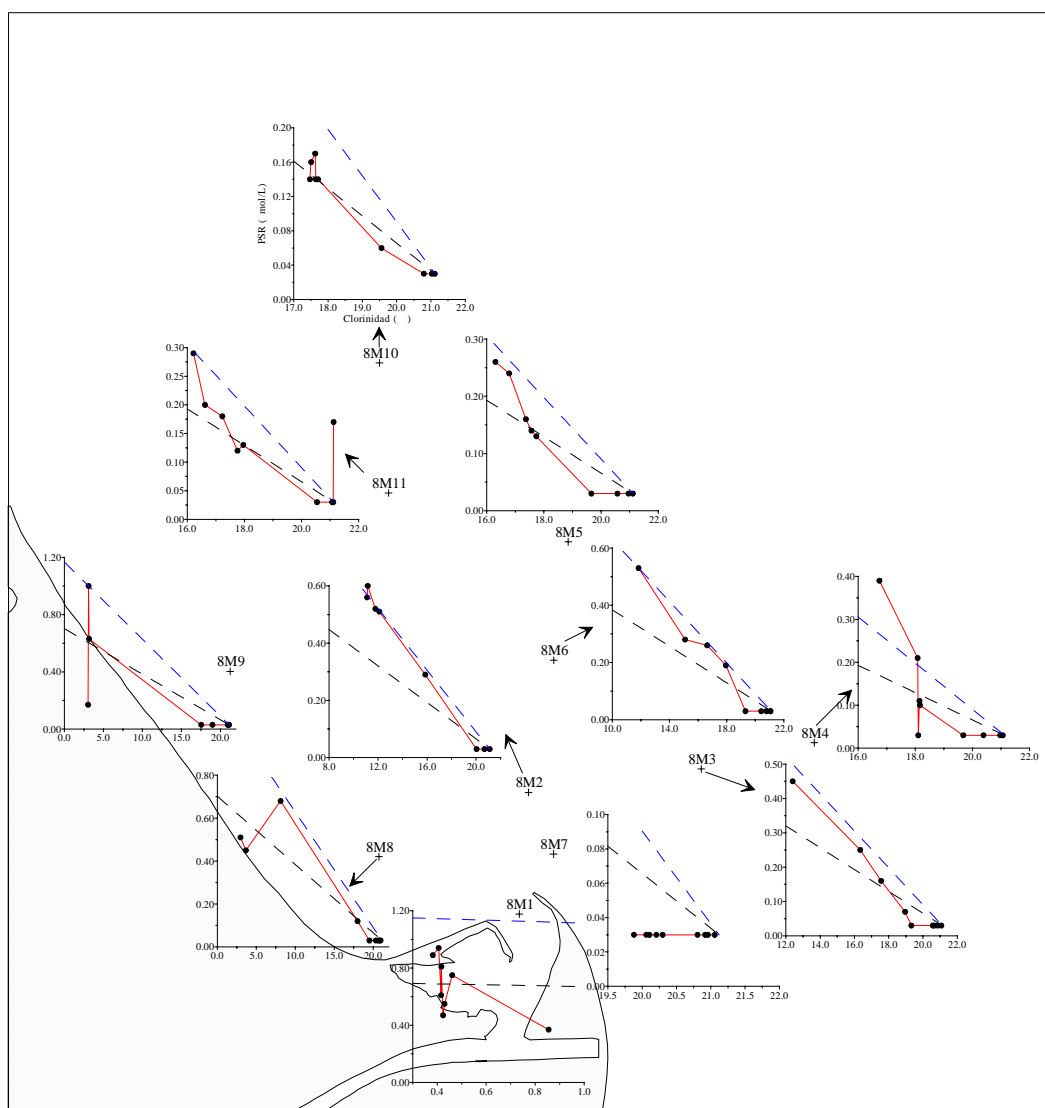


Figura 4.8.30. Comportamiento del PSR en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

Como era de esperar, las concentraciones de PSR disminuyen al aumentar la clorinidad. Pero al igual que ocurría con otros nutrientes en anteriores muestreos, la línea de mezcla ideal de origen fluvial no parece ser una buena elección. Teniendo ésta en cuenta se aprecian ganancias en todas las estaciones en las capas de menor clorinidad, lo que parece ser erróneo si tenemos en consideración que ha quedado ampliamente demostrado en anteriores muestreos la alta actividad biológica que hace disminuir dramáticamente las concentraciones de PSR. Por ello, para poder explicar correctamente el comportamiento de este nutriente, hemos de escoger otro extremo dulce de la línea de mezcla ideal. Debido a la dispersión obtenida en las muestras de 8M1, no se puede escoger un promedio de éstas como se hizo en otros muestreos. Por lo tanto se ha optado por elegir la muestra dulce con mayor concentración de PSR (8M9-0.05 m), con la que se ha obtenido la línea de mezcla ideal representada en esta figura 4.8.30 (línea azul). Así, con esta nueva línea, se aprecia que en todas las estaciones se producen pérdidas generalizadas en toda la columna de agua que cabe achacar a una alta absorción planctónica llegando a consumir casi completamente el PSR en la mayoría de las estaciones (excepto en 8M1). En un par de estaciones (8M4 y 8M11) cabe reseñar algunos aumentos de concentración que son probablemente debidos a la excreción de autótrofos y heterótrofos.

El comportamiento global del PSR en el proceso de mezcla se muestra en la figura 4.8.31.

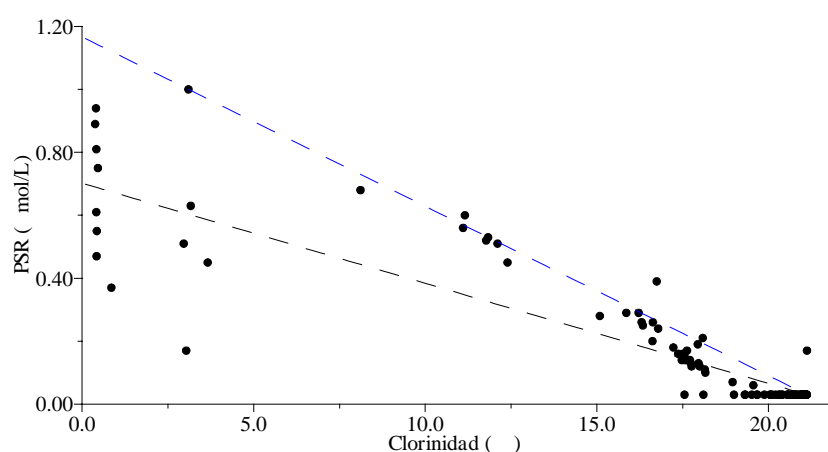


Figura 4.8.31. Comportamiento del PSR en la pluma estuarina. Muestreo 8.

Teniendo en cuenta la línea de mezcla ideal obtenida utilizando la muestra dulce de mayor concentración (8M9-0.05 m), se observa una pérdida generalizada

en toda la pluma estuarina debido a que el consumo y asimilación del fosfato por parte de los diversos organismos planctónicos predomina sobre otro tipo de procesos que aumentarían su concentración. Es de destacar que estas pérdidas son más llamativas en dos zonas de la columna de agua, en la parte más dulce (hasta 5‰) y en la más salina (a partir de 16‰), manteniéndose en la zona intermedia un comportamiento algo más conservativo, como ya se observó también en el muestreo anterior del 1 de febrero de 2000.

4.8.8.- Fósforo Disuelto Total (PDT)

La concentración de fósforo disuelto total (PDT) varía en un rango algo menor al muestreo anterior, desde un máximo de 1.65 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 8M9 a 0.05 m de profundidad hasta un mínimo inferior a 0.03 $\mu\text{mol/L}$ en todas las estaciones (excepto en 8M1) a diversas profundidades. En la tabla 4.8.8 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	PDT ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
8M1	1.63	-0.05	1.11	-0.50
8M8	1.62	0.00	<0.03	-0.30, -0.50, -1.00, -5.0
8M9	1.65	-0.05	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
8M2	0.92	-0.05, -0.20	<0.03	-0.75
8M6	0.78	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00, -5.0
8M3	0.68	0.00	<0.03	-0.30, -1.00
8M11	0.33	0.00	<0.03	-0.75
8M5	0.39	0.00	<0.03	-1.00, -5.0
8M4	0.48	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00
8M10	0.21	0.00	<0.03	-5.0
8M7	0.06	-0.10, -0.30	<0.03	-0.05, -0.50

Tabla 4.8.8. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PDT en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

Como era de esperar por la importancia de los aportes fluviales, las mayores concentraciones se localizan en las estaciones de mayor influencia continental (8M1, 8M8 y 8M9), disminuyendo al hacerlo ésta. En cada una de las estaciones

los mayores valores se encuentran en las capas más superficiales, mientras que los mínimos se localizan a las mayores profundidades, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento a profundidades relativamente pequeñas (30-50 cm).

La distribución horizontal a 0.00 m de profundidad se representa en la figura 4.8.32. Las mayores concentraciones se localizan en las cercanías de la desembocadura y van disminuyendo al alejarnos de ésta, siguiendo una distribución contraria a la clorinidad.

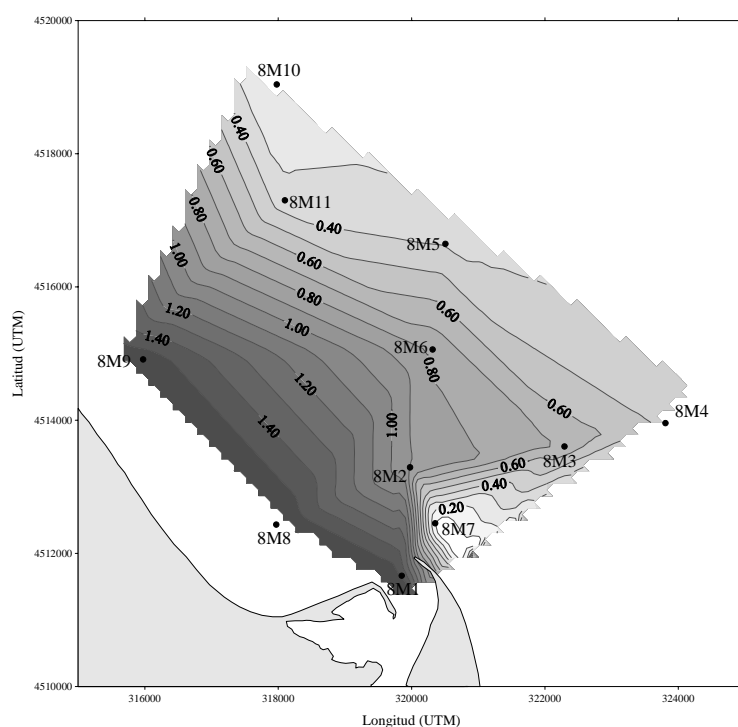


Figura 4.8.32. Distribución superficial de PDT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 8.

En la figura 4.8.33 se representa el corte vertical del transecto 8M1-8M5.

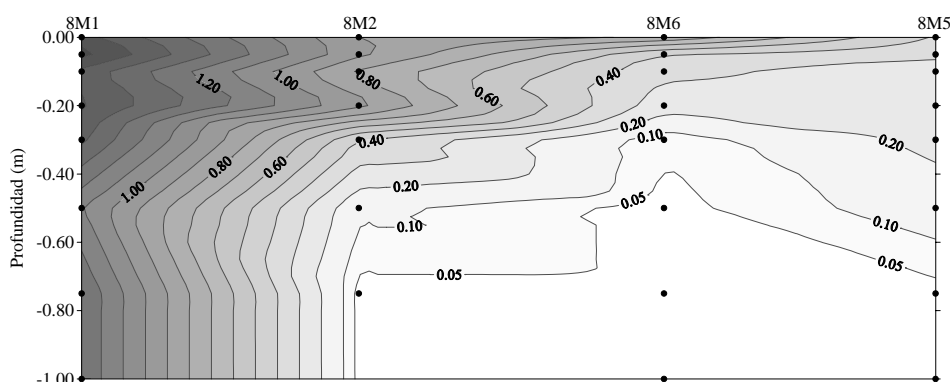


Figura 4.8.33. Distribución espacial de PDT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

Se aprecia una disminución de las concentraciones al alejarnos de la desembocadura y al aumentar la profundidad. De todas formas, y como ocurre con

otros nutrientes, se localizan desviaciones de la pauta de disminución con la profundidad en 8M1 y 8M2 en la capa más superficial. Éstas y algunas otras se aprecian en la figura 4.8.34 donde se representa los perfiles de PDT para cada una de las estaciones.

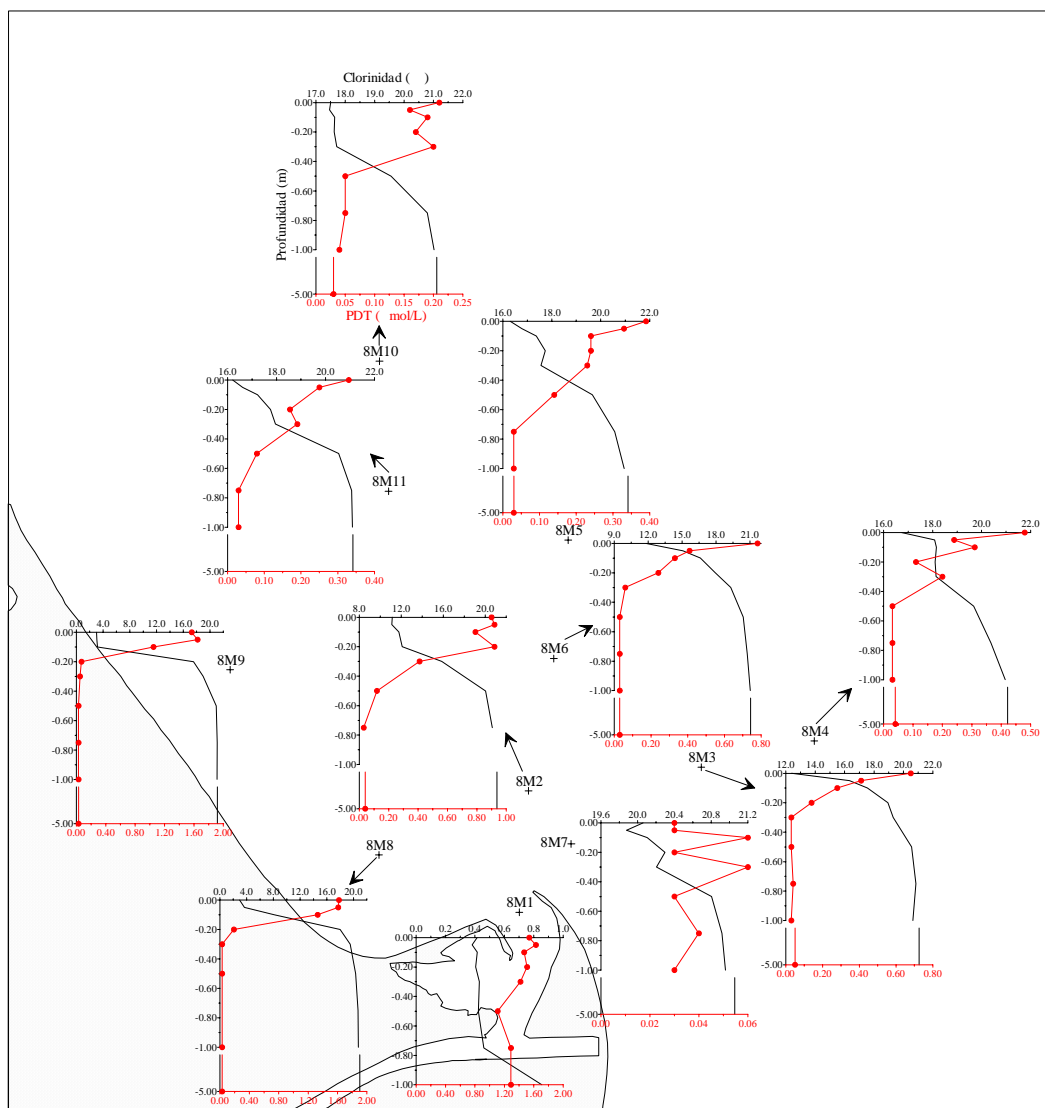


Figura 4.8.34. Perfiles verticales de PDT. Muestreo 8.

Las concentraciones de PDT disminuyen gradualmente al aumentar la profundidad en todas las estaciones, llegando a valores cercanos al agotamiento a las mayores profundidades en todas ellas. Pero aunque la pauta general sea de disminuir al aumentar la profundidad, se localizan diversas desviaciones en algunas estaciones. Las de mayor relieve se producen en los 30 cm superiores de la columna de agua en 8M2, 8M11, 8M4 y 8M10, y en toda la columna en 8M1 y 8M7, aunque estas últimas son poco significativas. Las desviaciones tan llamativas que se producen en 8M7 no son de gran magnitud, pues los bajos

valores encontrados en esta estación hacen que cualquier mínimo cambio tenga una gran repercusión. La mayoría de estos perfiles de PDT coinciden aproximadamente con los correspondientes de PSR (figura 4.8.29), por lo que puede decirse que estas desviaciones de la pauta general de disminución del PDT al aumentar la profundidad son debidas más a variaciones en las concentraciones de PSR que a las de POD.

En la figura 4.8.35 se muestra el comportamiento del PDT en la mezcla estuarina para cada una de las estaciones.

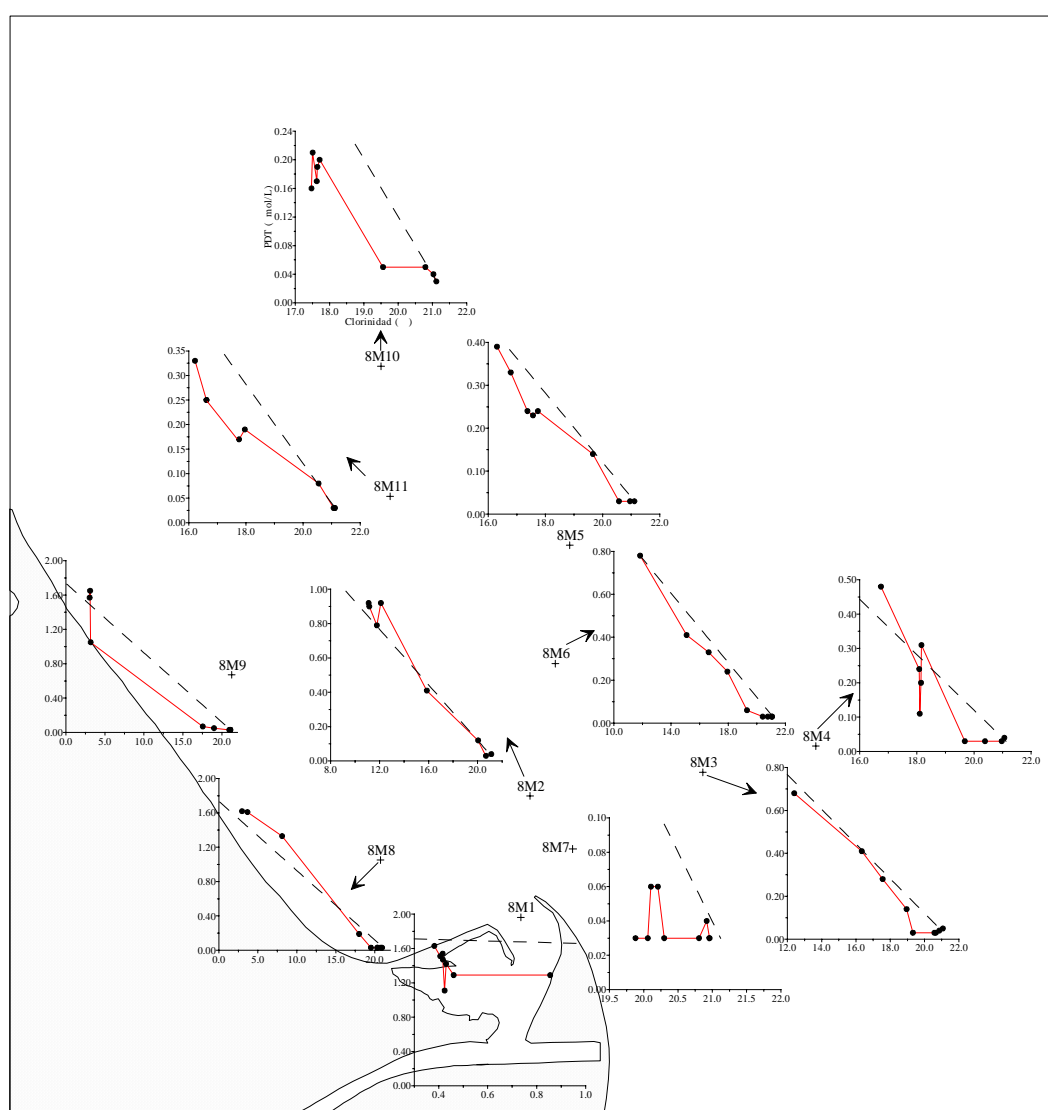


Figura 4.8.35. Comportamiento del PDT en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

Las concentraciones de PDT disminuyen gradualmente al aumentar la clorinidad. En general en todas las estaciones se observa pérdidas, achacables a una predominancia de la absorción planctónica sobre otros procesos que

aumentarían su concentración. Sin embargo en algunos puntos tienen lugar ligeras ganancias probablemente debidas a excreciones de autótrofos y heterótrofos y/o a la desorción de partículas suspendidas. Así se observa en la figura 4.8.36 donde se representa el comportamiento global del PDT en la pluma estuarina. En las zonas más dulces y salinas se dan claras pérdidas, sin embargo en el rango intermedio de clorinidad se dan algunas ganancias.

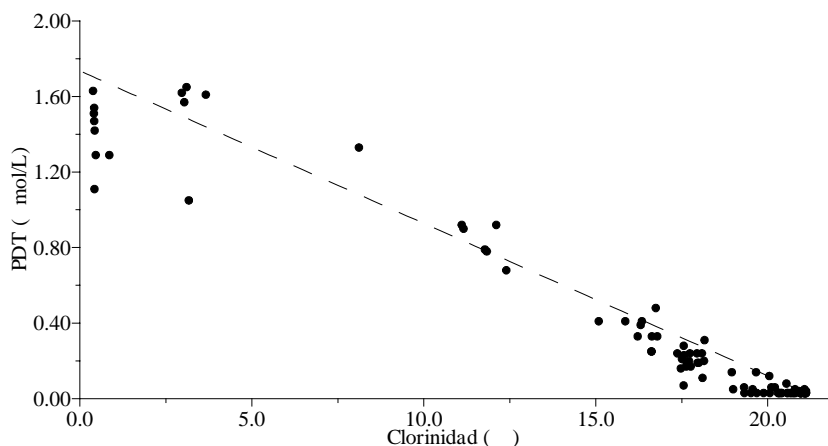


Figura 4.8.36. Comportamiento del PDT en la pluma estuarina. Muestreo 8.

4.8.9.- Fósforo Total (PT)

En la tabla 4.8.9 se muestra las concentraciones máximas y mínimas encontradas para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	PT (μmol/L)	Profundidad (m)	PT (μmol/L)	Profundidad (m)
8M1	2.41	-0.20	1.70	-0.30
8M8	2.04	-0.10	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00
8M9	1.80	-0.05	<0.03	-1.00, -5.0
8M2	1.24	0.00	0.03	-5.0
8M6	0.99	0.00	<0.03	-0.75, -1.00, -5.0
8M3	1.06	0.00	<0.03	-0.50, -0.75, -1.00
8M11	0.41	0.00	<0.03	-0.75
8M5	0.47	0.00	<0.03	-5.0
8M4	0.37	-0.10	<0.03	-0.75, -1.00
8M10	0.37	-0.30	0.04	-1.00
8M7	0.17	-0.20	<0.03	-0.75, -5.0

Tabla 4.8.9. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de PT en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

Igual que con las otras formas de fósforo, la concentración de PT varía en un rango algo menor que el anterior, desde un máximo de $2.41 \mu\text{mol/L}$ localizado en 8M1 a $0.20 \mu\text{mol/L}$ en muchas de las estaciones a diversas profundidades. Como era de esperar, y como ocurre con el resto de nutrientes, las mayores concentraciones de PT se encuentran en las estaciones de mayor influencia continental (8M1, 8M8 y 8M9), disminuyendo éstas conforme lo hace la influencia continental. En cada una de las estaciones las mayores concentraciones generalmente se encuentran en las capas más superficiales y las menores en las más profundas, llegando incluso a valores cercanos al agotamiento en la mayoría de ellas (excepto en 8M1).

En la figura 4.8.37 se ha representado la distribución horizontal a 0.00 m de profundidad obtenida para este muestreo. A pesar de la inexistencia de las concentraciones en 8M4 y 8M10 (ver tabla 4.8.6), se aprecia el esperado desplazamiento de la pluma fluvial hacia el norte-noroeste, siendo las aguas cercanas a la desembocadura de mayor concentración.

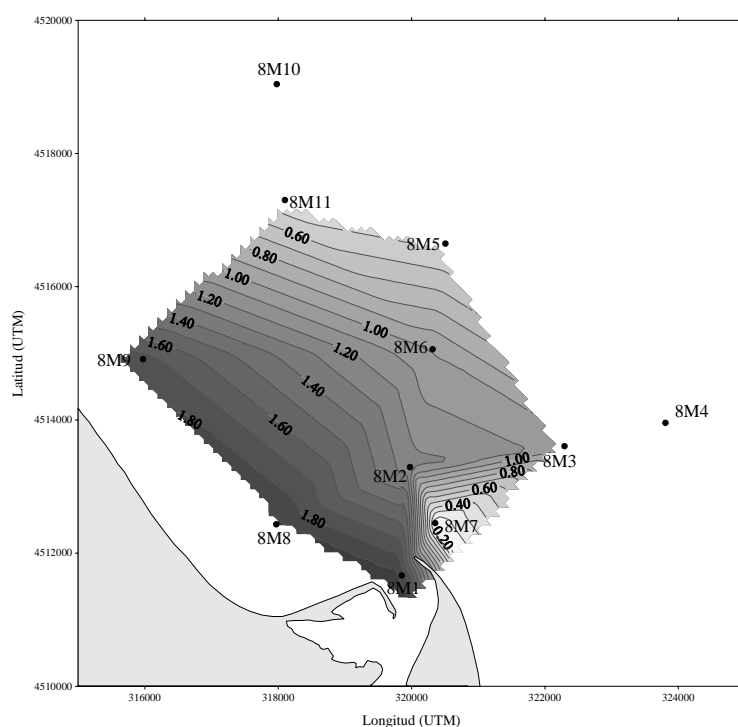


Figura 4.8.37. Distribución superficial de PT ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 8.

La distribución vertical obtenida en el transecto 8M1-8M5 se representa en la figura 4.8.38 donde se aprecia una progresiva disminución de la concentración de PT al alejarnos de la boca del río y al aumentar la profundidad. De todas

formas se dan algunas desviaciones de esta pauta general en la capa de agua más superficial de 8M1.

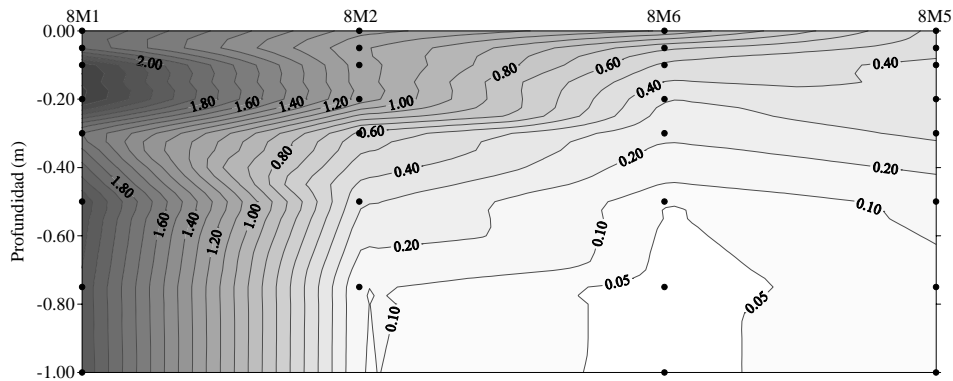


Figura 4.8.38. Distribución espacial de PT ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

En la figura 4.8.39 se representa los perfiles para cada una de las estaciones, donde se observan con más detalle éstas y otras desviaciones.

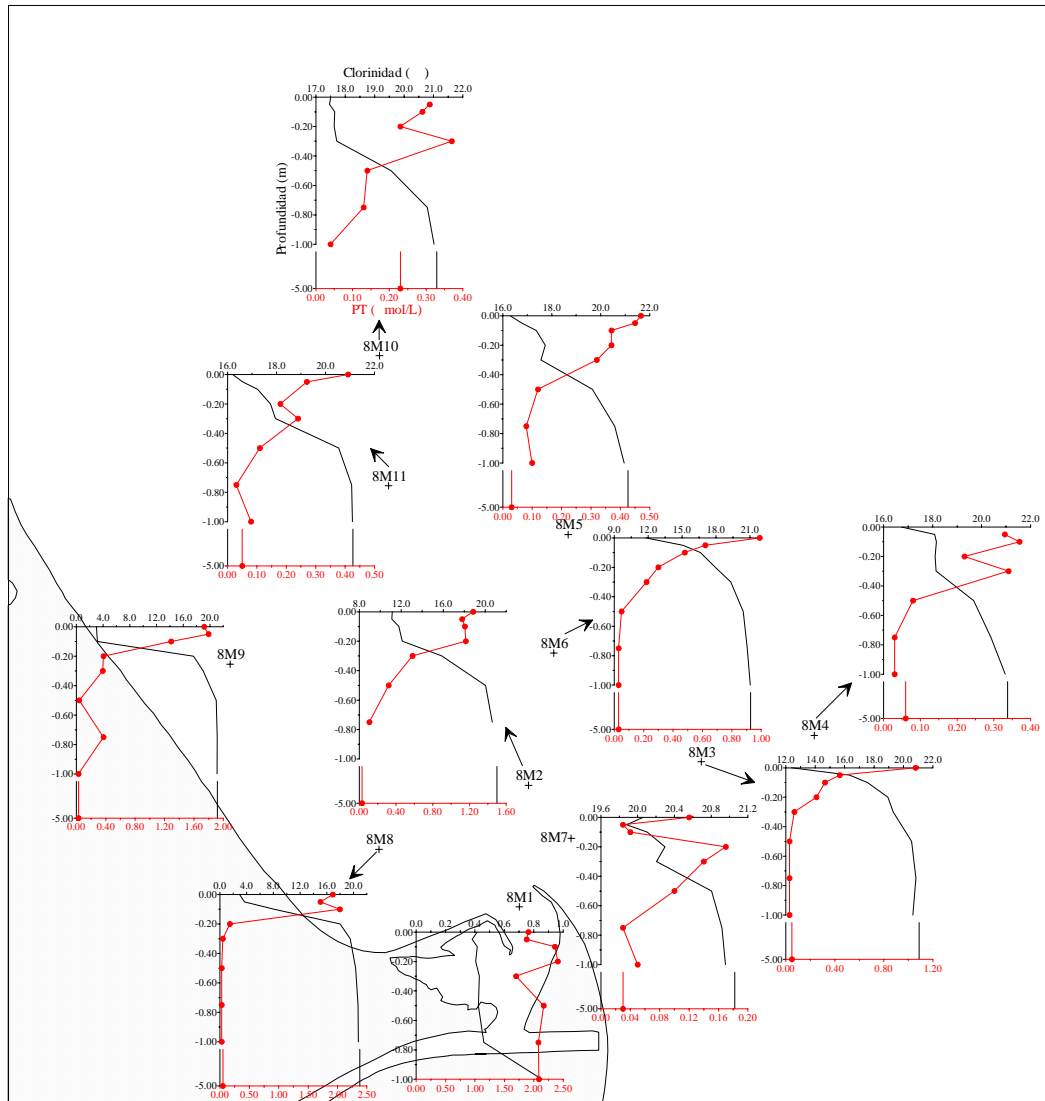


Figura 4.8.39. Perfiles verticales de PT. Muestreo 8.

En todas las estaciones la pauta general es de disminuir las concentraciones al aumentar la profundidad, llegando a valores cercanos al agotamiento en todas ellas, excepto en la de mayor influencia fluvial (8M1). Pero estas disminuciones no son graduales en todas, pues se localizan desviaciones en dos zonas diferenciadas de la columna de agua. Unas se producen en las capas más superficiales (hasta 30 cm de profundidad) de todas las estaciones, excepto en 8M6, 8M3 y 8M5. Otras, de menor magnitud, se localizan a mayor profundidad en 8M9, 8M11, 8M5, 8M4, 8M10 y 8M7.

En la figura 4.8.40 se muestra la variación del PT con la clorinidad en cada una de las estaciones.

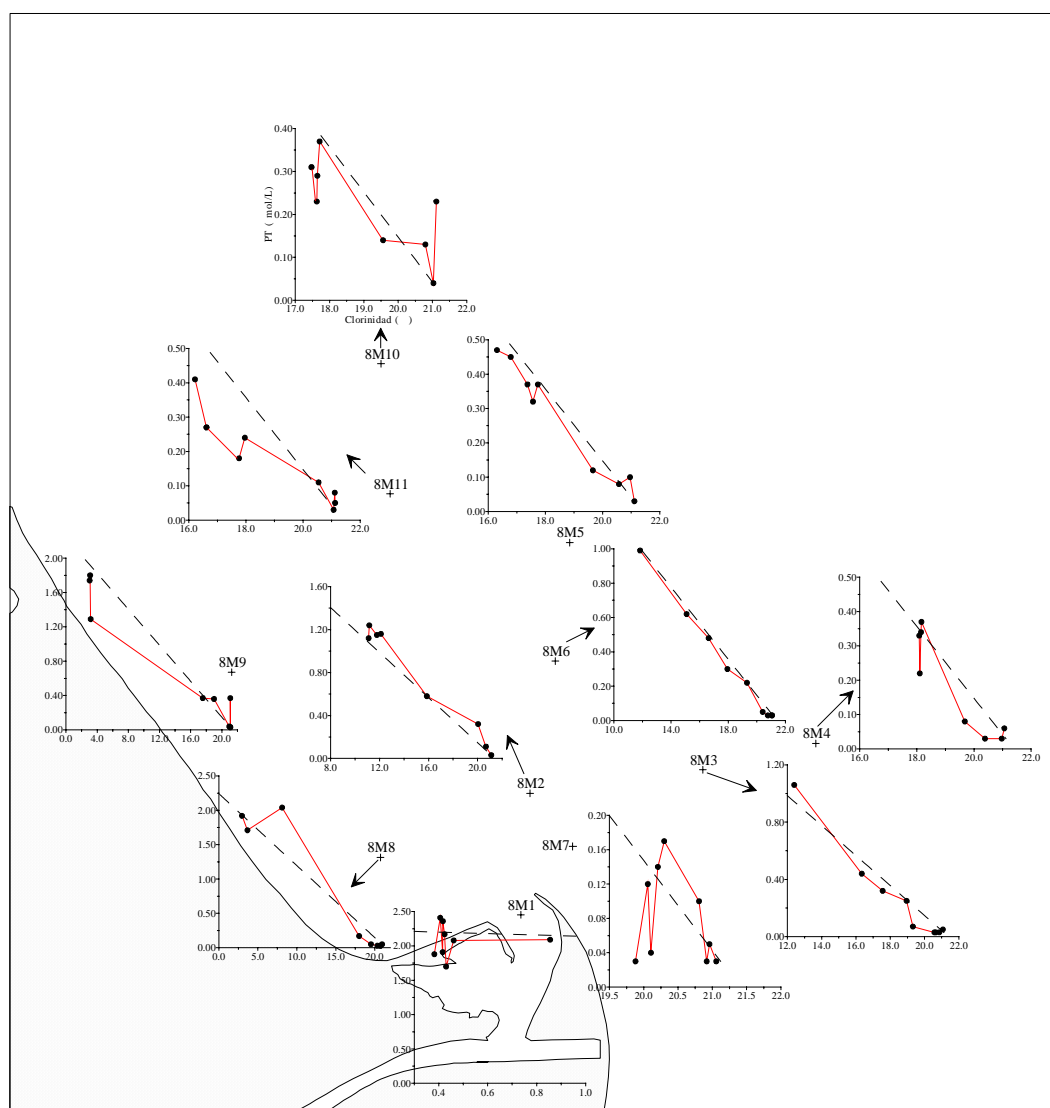


Figura 4.8.40. Variación de la concentración de PT con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

Las concentraciones disminuyen de manera gradual al aumentar la clorinidad, con un par de excepciones que son las estaciones de mayor y menor influencia fluvial (8M1 y 8M7 respectivamente). Pero, igual que ocurría en el muestreo anterior, esta disminución no es muy lineal, encontrando valores de menor y mayor concentración de lo esperado por la simple mezcla física entre dos masas de agua de diferente concentración.

Al igual que ocurría en el muestreo anterior, la mayoría de los perfiles mostrados en la figura 4.8.39 y las variaciones con la clorinidad mostradas en la figura 4.8.40 coinciden con los de PDT, con lo cual podemos asegurar que los cambios y desviaciones que se producen en el PT son debidos casi exclusivamente al fósforo disuelto y no tanto a las formas particuladas.

En la figura 4.8.41 se ha representado la variación global del PT con la clorinidad en la pluma estuarina, donde se comprueba claramente que, al igual que en otros muestreos, la mayoría de muestras quedan bastante cercanas a la línea de mezcla ideal, aunque encontramos valores mayores y menores de lo esperado.

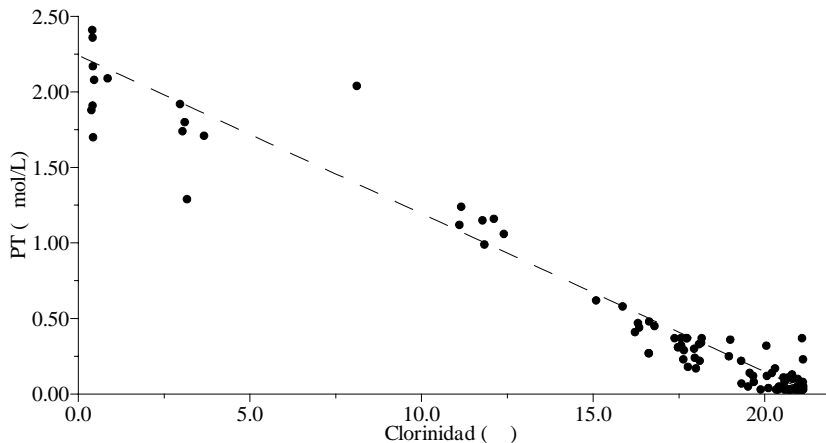


Figura 4.8.42. Variación del PT con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 8.

4.8.10.- Ácido Ortosilícico

La concentración de ácido ortosilícico en este muestreo posee un rango de variación algo mayor que en el anterior, desde un máximo de 76.0 $\mu\text{mol/L}$ localizado en la estación 8M1 a 0.05 m de profundidad hasta un mínimo de 0.4 $\mu\text{mol/L}$ en 8M9 a 5.0 m. En la tabla 4.8.10 se muestra estos valores máximos y mínimos encontrados para cada una de las estaciones y las profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)	Ác. ortosil. ($\mu\text{mol/L}$)	Profundidad (m)
8M1	76.0	-0.05	70.0	-0.10, -0.30, -0.50
8M8	65.5	0.00	0.8	-5.0
8M9	66.0	-0.05	0.4	-5.0
8M2	34.0	0.00	2.5	-5.0
8M6	25.5	0.00	1.8	-5.0
8M3	23.5	0.00	2.2	-5.0
8M11	18.5	-0.05	1.8	-1.00
8M5	15.8	0.00	2.5	-1.00
8M4	16.3	0.00	1.9	-5.0
8M10	14.6	-0.05	2.0	-5.0
8M7	5.7	0.00	1.1	-5.0

Tabla 4.8.10. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

Las mayores concentraciones se encuentran en las estaciones de mayor influencia fluvial, 8M1, 8M8 y 8M9. Estas concentraciones van disminuyendo conforme lo hace ésta, aunque sin llegar a límites cercanos al agotamiento en ninguna de las estaciones muestreadas. Como ocurre con otros nutrientes, en cada una de las estaciones los máximos se localizan en las capas más superficiales, disminuyendo al aumentar la profundidad por la dilución con las aguas salinas de menor concentración. Caso aparte merece la estación 8M1, donde no se observa una gran disminución de este nutriente al aumentar la profundidad, como posteriormente veremos.

En la figura 4.8.42 se representa la distribución horizontal a 0.00 m de profundidad. Como era de esperar, y como ocurre con los anteriores nutrientes, las mayores concentraciones se encuentran en las cercanías de la desembocadura y en las estaciones situadas en dirección norte-noroeste debido al efecto del viento.

Esta progresiva disminución de las concentraciones al alejarnos de la desembocadura se aprecia también en la figura 4.8.43, donde se muestra la distribución vertical obtenida en el transecto 8M1-8M5. Estas concentraciones disminuyen también al aumentar la profundidad en estas estaciones.

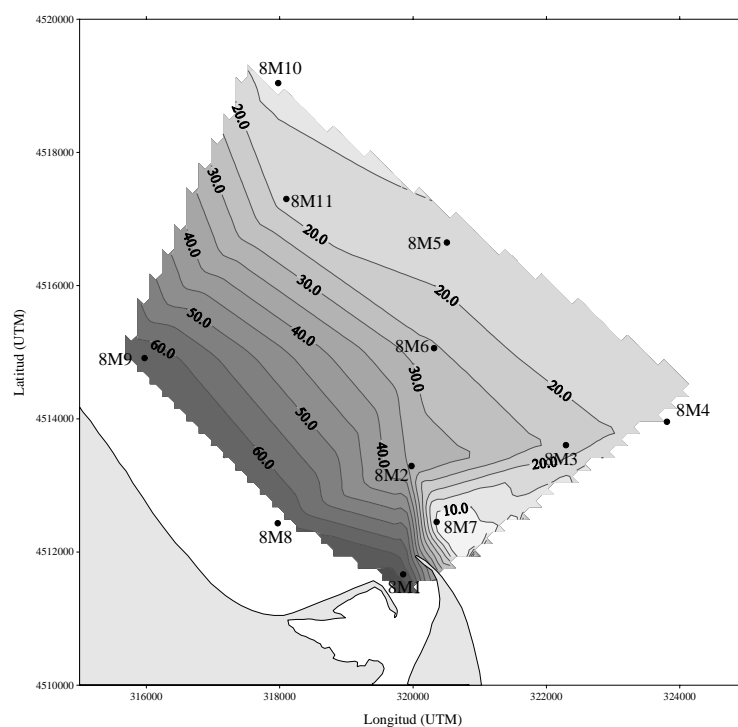


Figura 4.8.42. Distribución superficial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$). Muestreo 8.

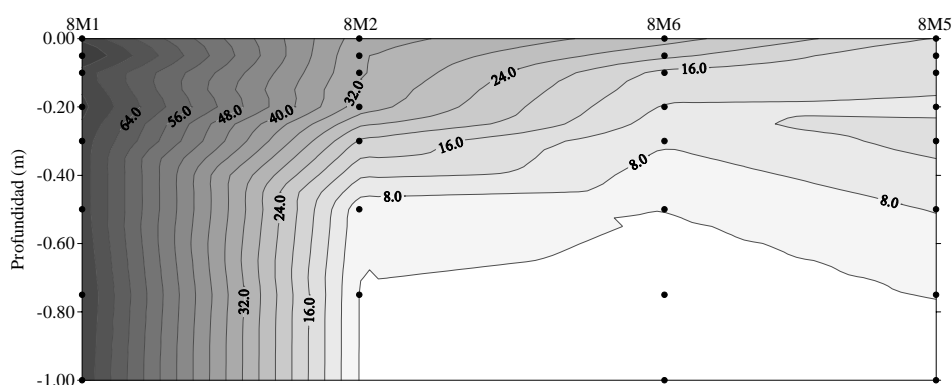


Figura 4.8.43. Distribución espacial de ácido ortosilícico ($\mu\text{mol/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

De todas maneras en esta figura 4.8.43 se encuentran desviaciones de la pauta general de disminución con la profundidad en 8M1 y 8M5, desviaciones que se observan con mayor precisión en la figura 4.8.44, donde se representan los perfiles en cada una de las estaciones. Al igual que ocurría en el muestreo anterior los perfiles de ácido ortosilícico son aproximadamente una “imagen especular” de los de la clorinidad. Así, cuando ésta permanece constante en algunos centímetros de la columna de agua, también lo hace el ácido ortosilícico, como ocurre en 8M1, 8M8, 8M9 y 8M10. De todas maneras se puede apreciar diversas desviaciones de la pauta general de disminución con la profundidad que no se deben a variaciones en la clorinidad, como las que se producen en las capas más superficiales de

8M11, 8M5, 8M10 y 8M7 y que pueden achacarse probablemente a la absorción y movimiento de las comunidades fitoplanctónicas.

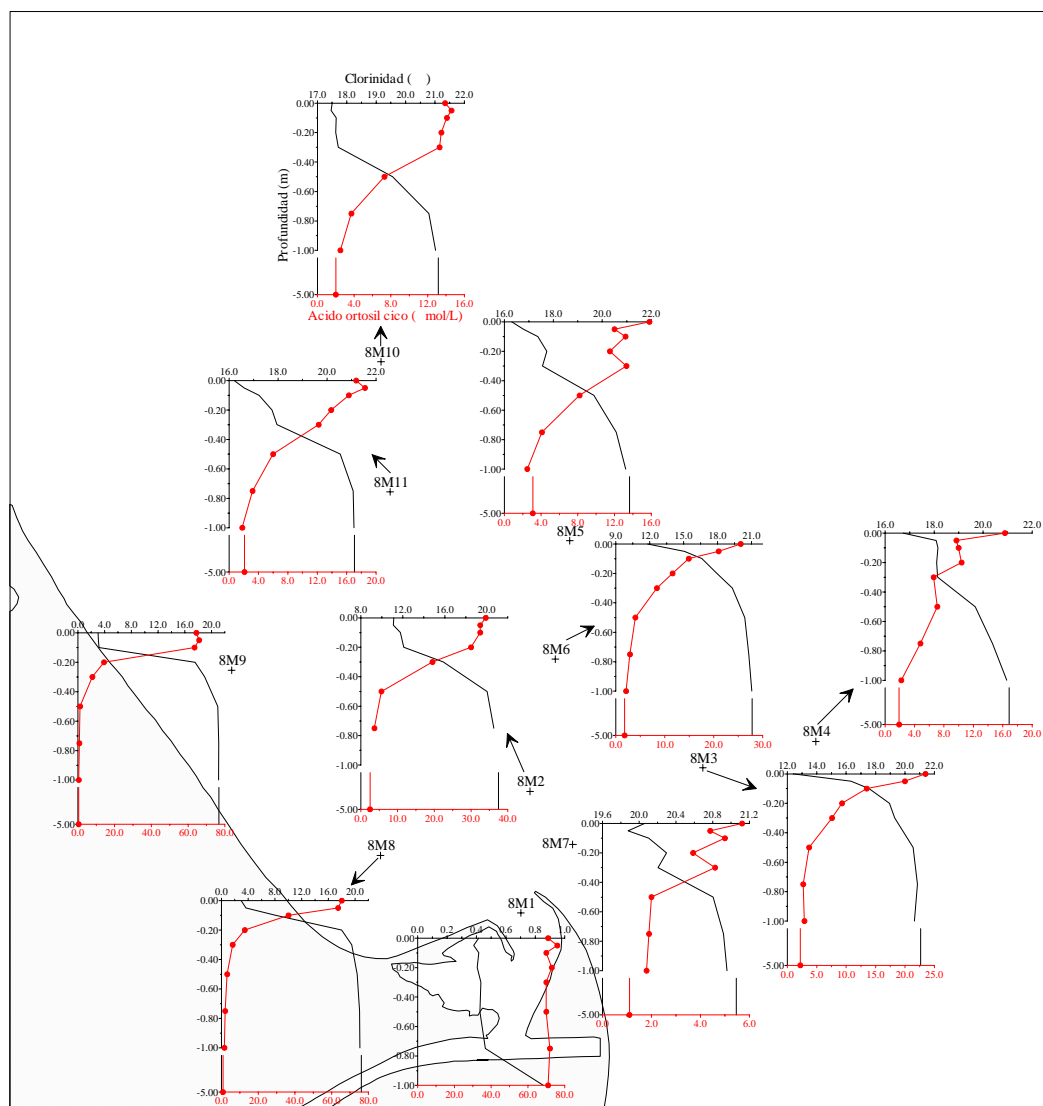


Figura 4.8.44. Perfiles verticales de ácido ortosilícico. Muestreo 8.

El comportamiento de este nutriente en la mezcla estuarina en cada una de las estaciones se muestra en la figura 4.8.45. Como era de esperar, en todas ellas el ácido ortosilícico disminuye gradualmente al aumentar la clorinidad, excepto en 8M1 donde permanece aproximadamente constante por las razones anteriormente comentadas. En general se comporta de manera bastante conservativa en todas las estaciones, aunque se aprecian tanto ligeras pérdidas como ganancias en algunas. Estas pérdidas, que se producen en las capas menos salinas de 8M6, 8M3 y 8M5 y en puntos intermedios de 8M8 y 8M4, son debidas probablemente a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida. En cambio, las ligeras ganancias que se producen en las estaciones de menor

influencia fluvial 8M11, 8M5, 8M4, 8M10 y 8M7, podrían achacarse a la redisolución de la materia suspendida y/o a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas.

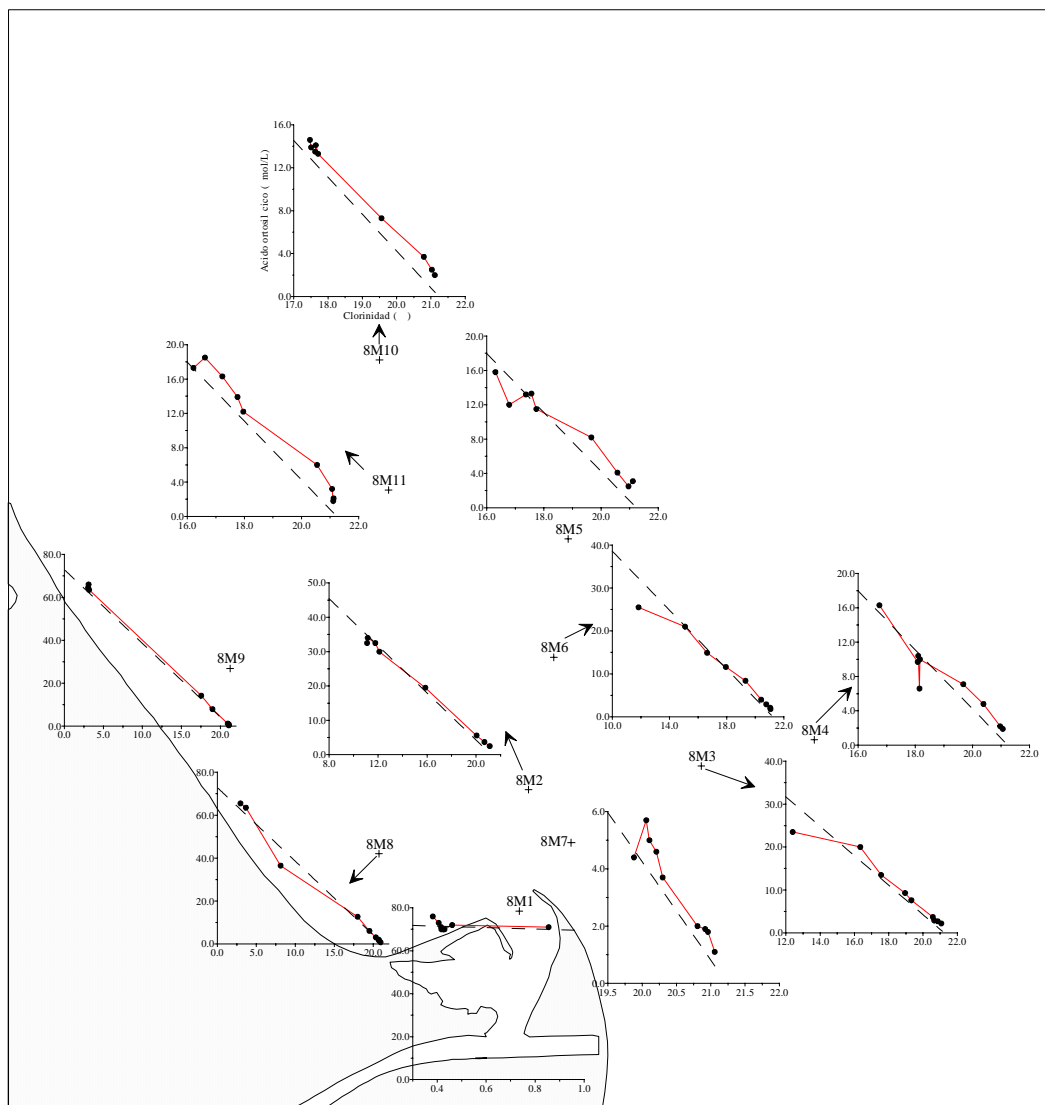


Figura 4.8.45. Comportamiento del ác. ortosilícico en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

En la figura 4.8.46 se representa el comportamiento global del ácido ortosilícico en la pluma estuarina, donde observamos que éste se comporta de manera bastante conservativa debido a que los procesos que disminuyen su concentración se ven compensados por otros que la aumentan. Sin embargo se aprecian ligeras ganancias en la zona de menor clorinidad que, como anteriormente comentamos, podrían achacarse a la redisolución de la materia suspendida y/o a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas. Además también se producen algunas ligeras pérdidas en un rango de clorinidad

intermedio (de 8 a 12‰) probablemente debidas a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida.

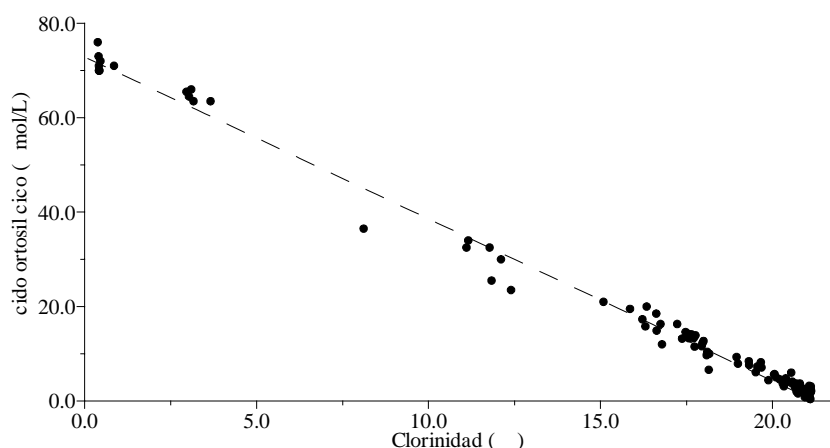


Figura 4.8.46. Comportamiento del ácido ortosilícico en la pluma estuarina. Muestreo 8.

4.8.11.- Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* en este muestreo tiene un rango de variación algo menor al del anterior, variando desde un máximo de 6.10 µg/L a la profundidad de 0.00 m en la estación 8M1 hasta un mínimo de 0.52 µg/L en 8M9 a 0.75 m. En la tabla 4.8.11 se muestran los máximos y mínimos de clorofila *a* encontrados para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes.

Estación	Máximo		Mínimo	
	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Profundidad (m)
8M1	6.10	0.00	5.55	-1.00
8M8	3.13	-0.05	0.58	-1.00
8M9	2.30	-0.20	0.52	-0.75
8M2	2.34	-0.10	1.28	-1.00
8M6	1.83	0.00	1.06	-1.00
8M3	2.00	0.00	1.08	-0.50, -0.75
8M11	2.04	0.00	1.30	-0.50
8M5	1.55	0.00	1.12	-0.75
8M4	1.41	-1.00	0.97	-0.50
8M10	1.29	-0.20	1.02	-0.50, -0.75
8M7	1.77	-0.05	1.14	-1.00

Tabla 4.8.11. Valores máximos y mínimos de las concentraciones de clorofila *a* en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

Los mayores valores se alcanzan en la estación de mayor influencia continental (8M1). No se observan grandes diferencias entre las restantes estaciones, a parte de unos valores algo superiores en las estaciones 8M8, 8M9 y 8M2. En la mayoría de las ellas las mayores concentraciones se encuentran en las capas más superficiales (excepto en 8M4) y las menores a mayores profundidades, pero sin llegar a valores cercanos al agotamiento en ninguna de ellas.

En la figura 4.8.47 se ha representado la distribución horizontal a 0.00 m de profundidad, donde se observa que los mayores valores se alcanzan en las cercanías de la desembocadura, disminuyendo éstos al hacerlo la influencia fluvial.

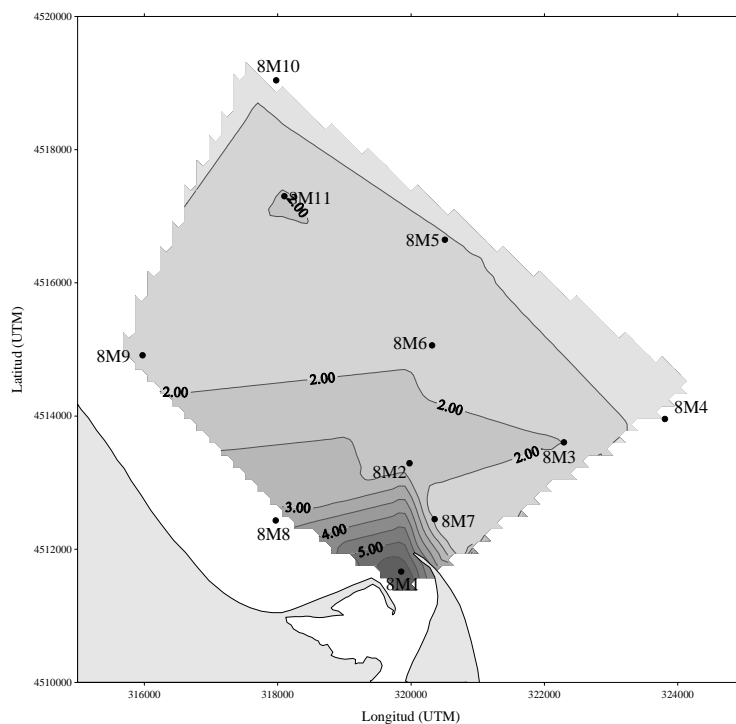


Figura 4.8.47. Distribución superficial de clorofila a ($\mu\text{g/L}$). Muestreo 8.

La distribución vertical en el transecto 8M1-8M5 se representa en la figura 4.8.48, donde se aprecia una disminución de la concentración al alejarnos de la desembocadura. Se observa que en 8M1 las concentraciones de clorofila permanecen constantes en el primer metro de la columna de agua, mientras que en las otras van disminuyendo gradualmente al aumentar la profundidad. Pero puede apreciarse diversas desviaciones de esta pauta en las capas más superficiales de 8M6 y 8M5.

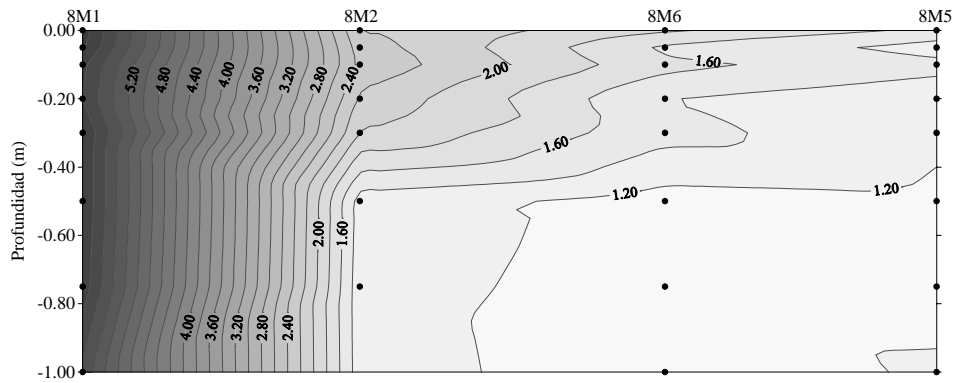


Figura 4.8.48. Distribución espacial de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en el transecto 8M1-8M5.

En la figura 4.7.49 se representa los perfiles en cada una de las estaciones, donde se aprecian estas desviaciones antes comentadas y algunas otras.

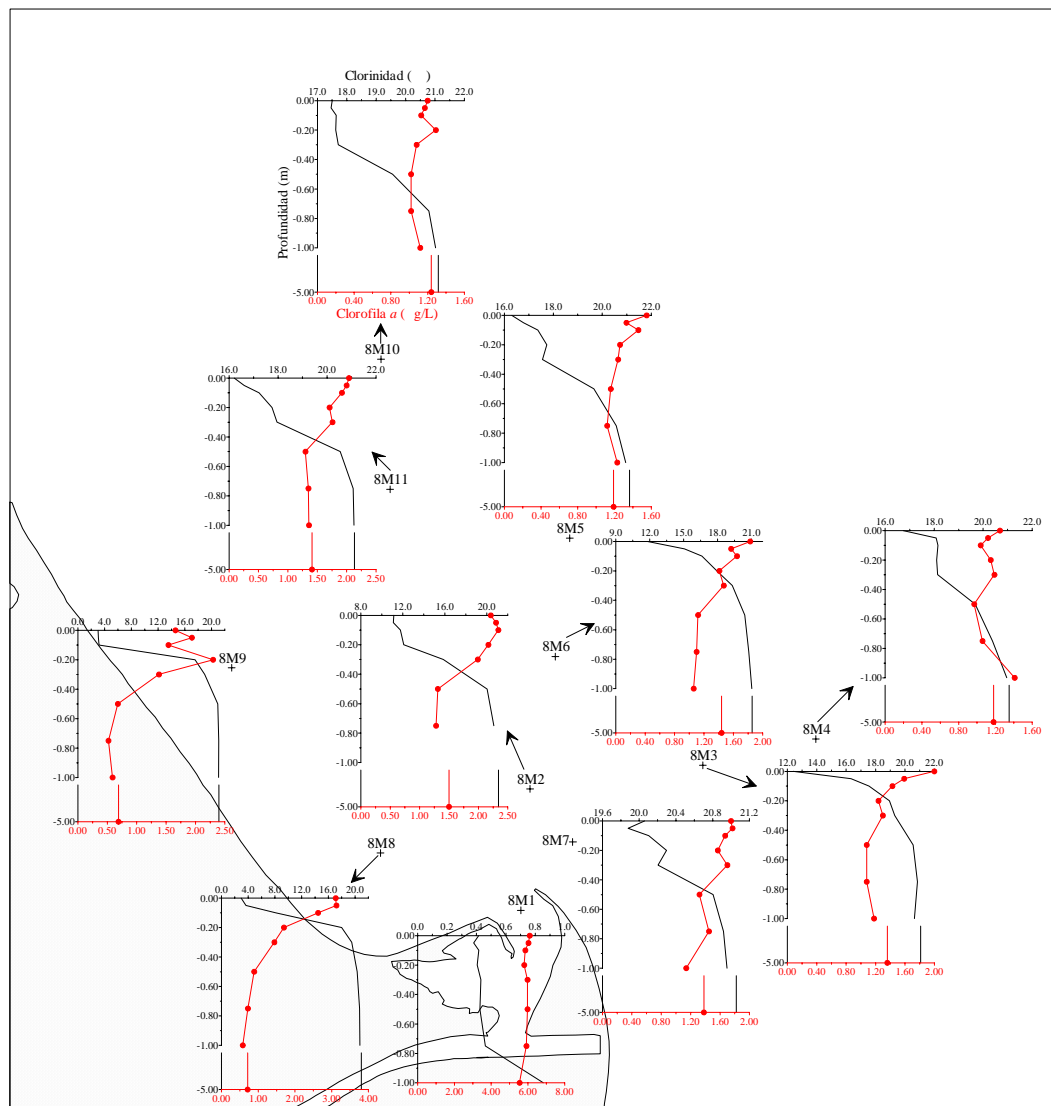


Figura 4.8.49. Perfiles verticales de clorofila a . Muestreo 8.

Todas estas desviaciones de la pauta general de disminución con la profundidad se producen en las capas más superficiales (aproximadamente en los

20 cm superiores) de la mayoría de estaciones (excepto 8M1, 8M8, 8M3 y 8M11) que podría achacarse al movimiento de las comunidades planctónicas y/o al efecto dañino de los rayos UV en los primeros centímetros de la columna de agua. Otras pequeñas desviaciones, que también existían en el muestreo anterior, se pueden observar en capas más profundas (entre 1.00 y 5.0 m) probablemente debido a un mayor desarrollo de la comunidad planctónica, pues en la mayoría de las estaciones a 5.0 m de profundidad se encuentra mayor cantidad de clorofila *a* que a 1.00 m. Se ha de resaltar la mínima variación en las concentraciones de clorofila en 8M1, debido a la constancia que se produce en la clorinidad.

En la figura 4.8.50 se representa la variación de estas concentraciones con la clorinidad en cada una de las estaciones.

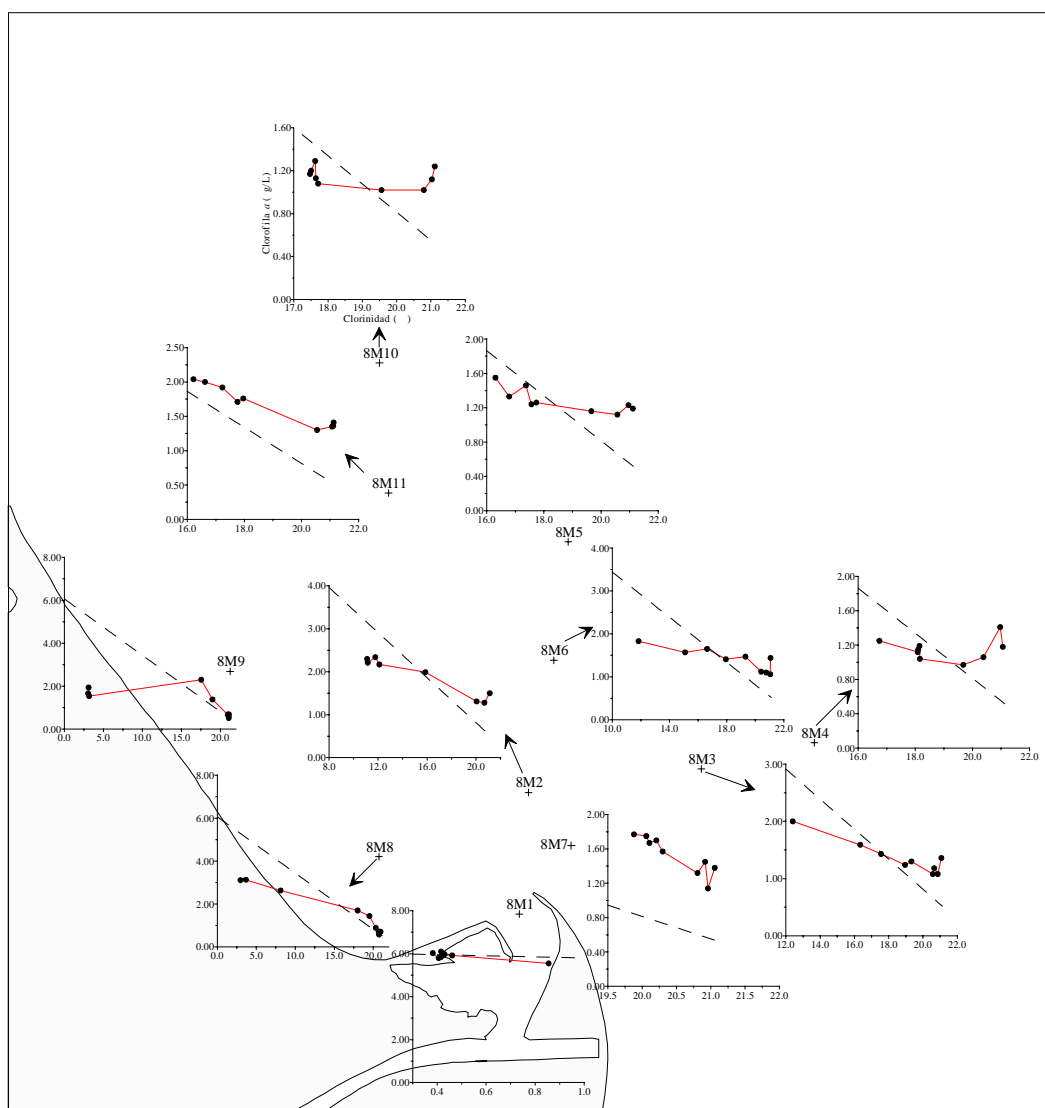


Figura 4.8.50. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en el proceso de mezcla. Muestreo 8.

La tendencia general en todas ellas es de disminuir al aumentar la clorinidad, pero con diversas variaciones en algunas estaciones. Al igual que en el muestreo anterior, en las zonas de menor clorinidad de la mayoría de estaciones (excepto en 8M11 y 8M7) nos encontramos con menores concentraciones de lo esperado por la mezcla física, probablemente debido al movimiento de las comunidades planctónicas y/o al efecto dañino de los rayos UV en estas capas de agua más superficiales. En cambio, en las zonas más salinas nos encontramos con mayores concentraciones de lo esperado, probablemente por un mayor crecimiento de las poblaciones planctónicas.

La variación global de las concentraciones de clorofila *a* con la clorinidad se ha representado en la figura 4.8.51, donde se observa claramente lo que anteriormente hemos comentado. En la zona de menor clorinidad (aproximadamente hasta 17‰) encontramos concentraciones de clorofila *a* menores de lo esperado que podría achacarse al movimiento de las comunidades planctónicas y/o al efecto dañino de los rayos UV. Sin embargo a mayores clorinidades la mayoría de las muestras quedan situadas por encima de la línea de mezcla ideal, indicando un aumento inesperado del número de células fitoplanctónicas.

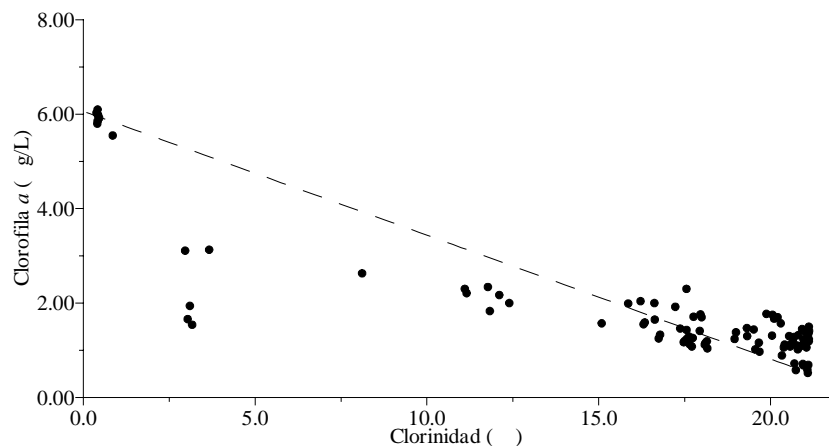


Figura 4.8.51. Variación de la clorofila *a* con la clorinidad en la pluma estuarina. Muestreo 8.

4.8.12.- Relaciones entre nutrientes

a) NID/PSR

La relación NID/PSR posee un rango de variación mayor que en el muestreo anterior, pues el NID es similar en ambos pero en éste el PSR es bastante menor.

El valor máximo es superior a 1290.0 y se localiza en la estación 8M9 a 0.20 m de profundidad, mientras que el mínimo es de 8.8 en 8M11 a 5.0 m. Los máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.8.12.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/PSR	Profundidad (m)	NID/PSR	Profundidad (m)
8M1	523.2	-1.00	196.0	-0.75
8M8	>586.7	-0.30	>66.7	-5.0
8M9	>1290.0	-0.20	>43.3	-5.0
8M2	>466.7	-0.50	>63.3	-5.0
8M6	610.0	-0.30	>76.7	-1.00
8M3	693.3	-0.30	>93.3	-5.0
8M11	>396.7	-0.50	8.8	-5.0
8M5	566.7	-0.50	>80.0	-5.0
8M4	>1173.3	-0.20	>96.7	-5.0
8M10	308.3	-0.50	>50.0	-5.0
8M7	>523.3	-0.05	>70.0	-5.0

Tabla 4.8.12. Valores máximos y mínimos de la relación NID/PSR en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

Como se puede observar en esta tabla, no se aprecia ninguna pauta de disminución en la componente espacial entre estaciones, pues los mayores valores no se encuentran ni en las estaciones de mayor influencia fluvial ni en las de menor, al influir tanto las concentraciones de NID como las de PSR. Lo que sí que se llega a apreciar es que los máximos se localizan generalmente a profundidades intermedias y los mínimos en las capas más profundas.

En la figura 4.8.52 se muestra las variaciones de esta relación con la profundidad para cada una de las estaciones. Al igual que ocurre en otros muestreos, la gran cantidad de valores que son “mayores que” se debe a la existencia de multitud de muestras donde el PSR está por debajo del límite de detección del método analítico. En la mayoría de estaciones esta relación NID/PSR aumenta desde la superficie hasta un máximo localizado a profundidades entre 0.20 y 0.50 m (excepto en 8M1 y 8M7 por las razones que posteriormente comentaremos). Esto se debe a que, aunque tanto el NID como el

PSR tienden a disminuir, el fósforo lo hace de manera más brusca provocando estos aumentos. A partir de estas profundidades, el NID/PSR comienza a disminuir hasta llegar a los mínimos a las mayores profundidades, debido a que el NID tiende a disminuir y el PSR suele mantenerse ya constante en valores cercanos al agotamiento, pues de hecho es a partir de estas profundidades cuando comienzan a observarse valores de NID/PSR “mayores que”. Las excepciones a esta pauta general son las estaciones de mayor y menor influencia fluvial. En 8M1, la inexistencia de una pauta general tanto en el NID como en el PSR provoca que este perfil de NID/PSR carezca también de ella. En cambio, en 8M7 el perfil de esta relación es idéntico al de NID debido a que el PSR en esta estación está cercano al agotamiento en toda la columna de agua.

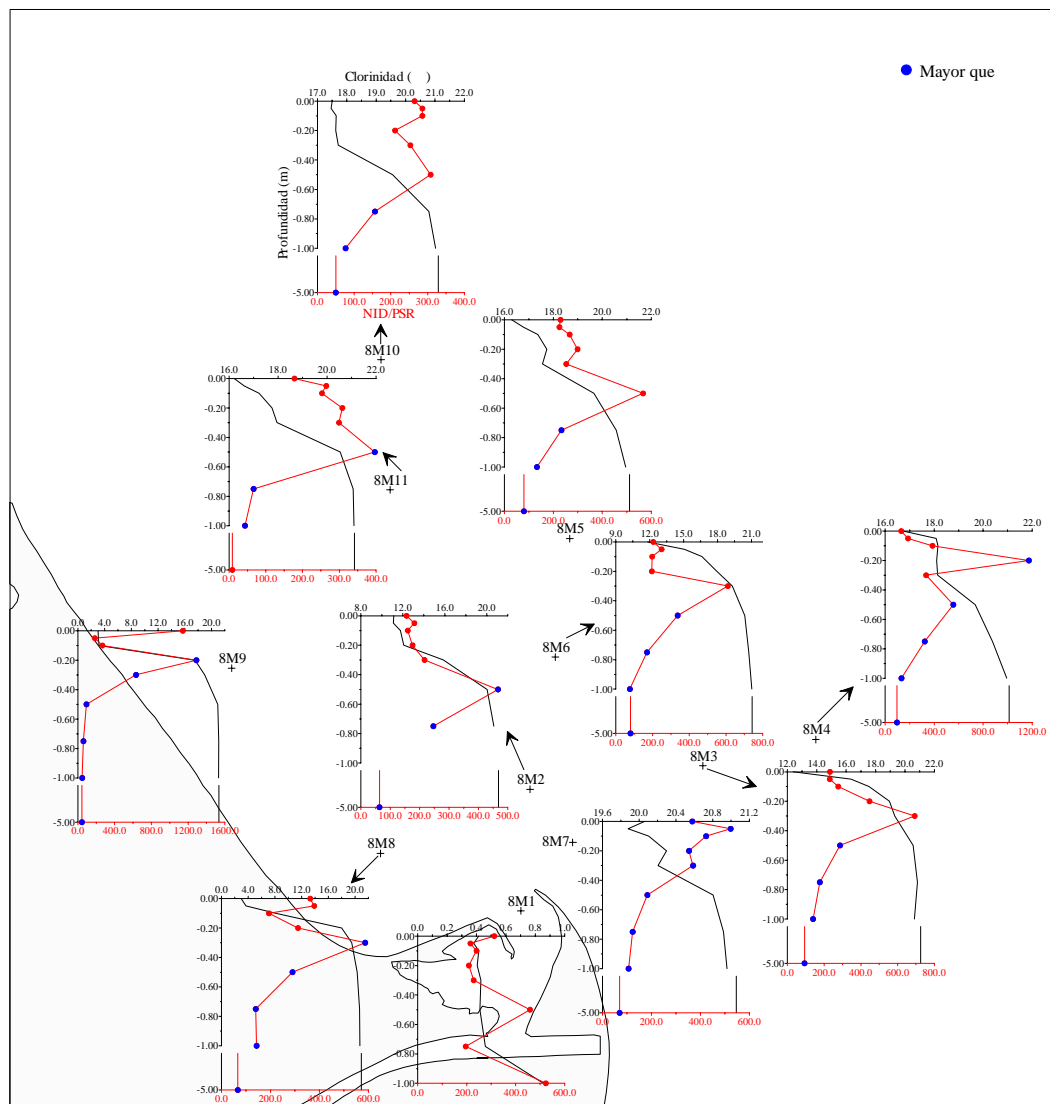


Figura 4.8.52. Perfiles verticales de NID/PSR. Muestreo 8.

En la figura 4.8.53 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad. Hasta una clorinidad aproximada de 18‰ los valores de NID/PSR se mantienen entre 100 y 500, con alguna muestra excepcional que llega a casi 1200. A partir de esta clorinidad comienzan a detectarse valores “mayores que” debido al agotamiento del PSR en estas capas de agua más salinas. Como ocurre en muestreos anteriores, los valores de NID/PSR son todos mayores de 20 (excepto una muestra que se corresponde con 8M11-5.0) debido a las bajas concentraciones de PSR encontradas, por lo que podemos asegurar que el nitrógeno, en forma de NID, no llegaría a limitar el crecimiento de la población fitoplanctónica en este muestreo, pudiendo por el contrario ser el PSR el que podría llegar a ser el nutriente limitante.

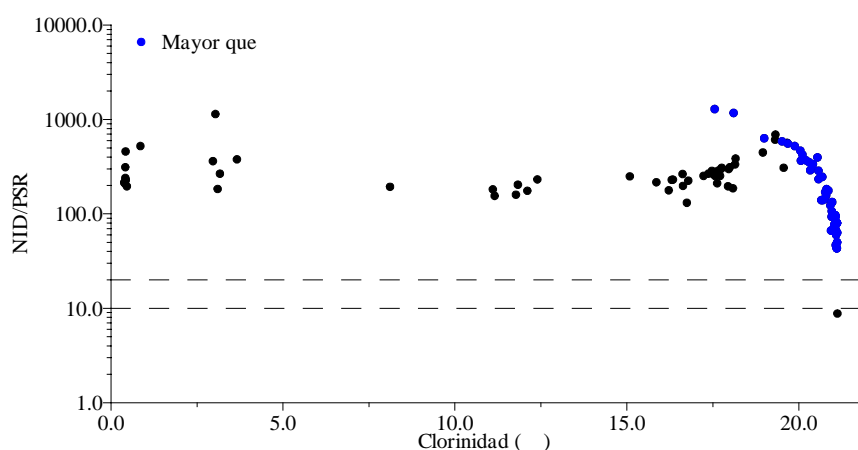


Figura 4.8.53. NID/PSR vs clorinidad en el muestreo 8.

b) NID/Ácido ortosilícico

Esta relación posee un rango de variación bastante similar al muestreo anterior, pues las concentraciones de ambos nutrientes en los dos muestreos son bastante similares. El máximo es de 5.6 y se localiza en la estación 8M4 a 0.30 m de profundidad, mientras que el mínimo es de 0.6 en 8M11 a 0.75 m. Los valores máximos y mínimos para cada una de las estaciones y sus profundidades correspondientes se muestran en la tabla 4.8.13.

Al igual que ocurría para la relación NID/PSR, no se observa una pauta clara de variación de esta relación en la horizontal entre las diferentes estaciones. En cambio sí parece apreciarse una ligera pauta en la vertical. En general, con algunas excepciones como 8M1 ó 8M9, los máximos de esta relación se producen en las capas más superficiales y los mínimos en las más profundas.

Estación	Máximo		Mínimo	
	NID/Si	Profundidad (m)	NID/Si	Profundidad (m)
8M1	3.1	-0.50	1.8	-0.30
8M8	3.6	-0.10	2.1	-0.75
8M9	3.3	-5.0	2.3	-0.50, -0.75
8M2	3.2	-0.30	0.8	-5.0
8M6	4.2	0.00	1.1	-1.00
8M3	4.4	0.00	1.3	-5.0
8M11	3.2	-0.30	0.6	-0.75
8M5	4.5	-0.05	0.8	-5.0
8M4	5.6	-0.30	1.5	-5.0
8M10	3.0	0.00	0.8	-5.0
8M7	3.6	-0.05	1.8	-1.00

Tabla 4.8.13. Valores máximos y mínimos de la relación NID/ácido ortosilícico en las diferentes estaciones durante el muestreo 8.

En la figura 4.8.54 se muestra la variación de esta relación con la profundidad. Si comparamos estos perfiles (figura 4.8.54) con los obtenidos para el NID (figura 4.8.24) y para el ácido ortosilícico (figura 4.8.44) se observa en general una ausencia de similitud entre estos. En cada una de las estaciones el valor de esta relación va disminuyendo gradualmente al aumentar la profundidad, excepto en las de mayor influencia fluvial (8M1, 8M8 y 8M9) en las que los valores permanecen aproximadamente constantes en torno a 3, con lo que cualquier mínimo cambio tiene una gran repercusión.

En la figura 4.8.55 se representa la variación global de esta relación con la clorinidad. Hasta una clorinidad aproximada de 18‰ los valores de esta relación se mantienen entre 2 y 5. A mayor clorinidad comienzan a disminuir, hasta llegar a ser incluso inferiores al valor límite de 1 en unas pocas muestras que se corresponden con 8M2, 8M11, 8M5 y 8M10. Como la mayoría de los valores de esta relación son mayores de 1, en principio el NID no llegaría a ser el nutriente limitante en estas condiciones. Pero cualquier mínimo cambio en las concentraciones de NID o de ácido ortosilícico puede hacer variar el nutriente que limita el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas.

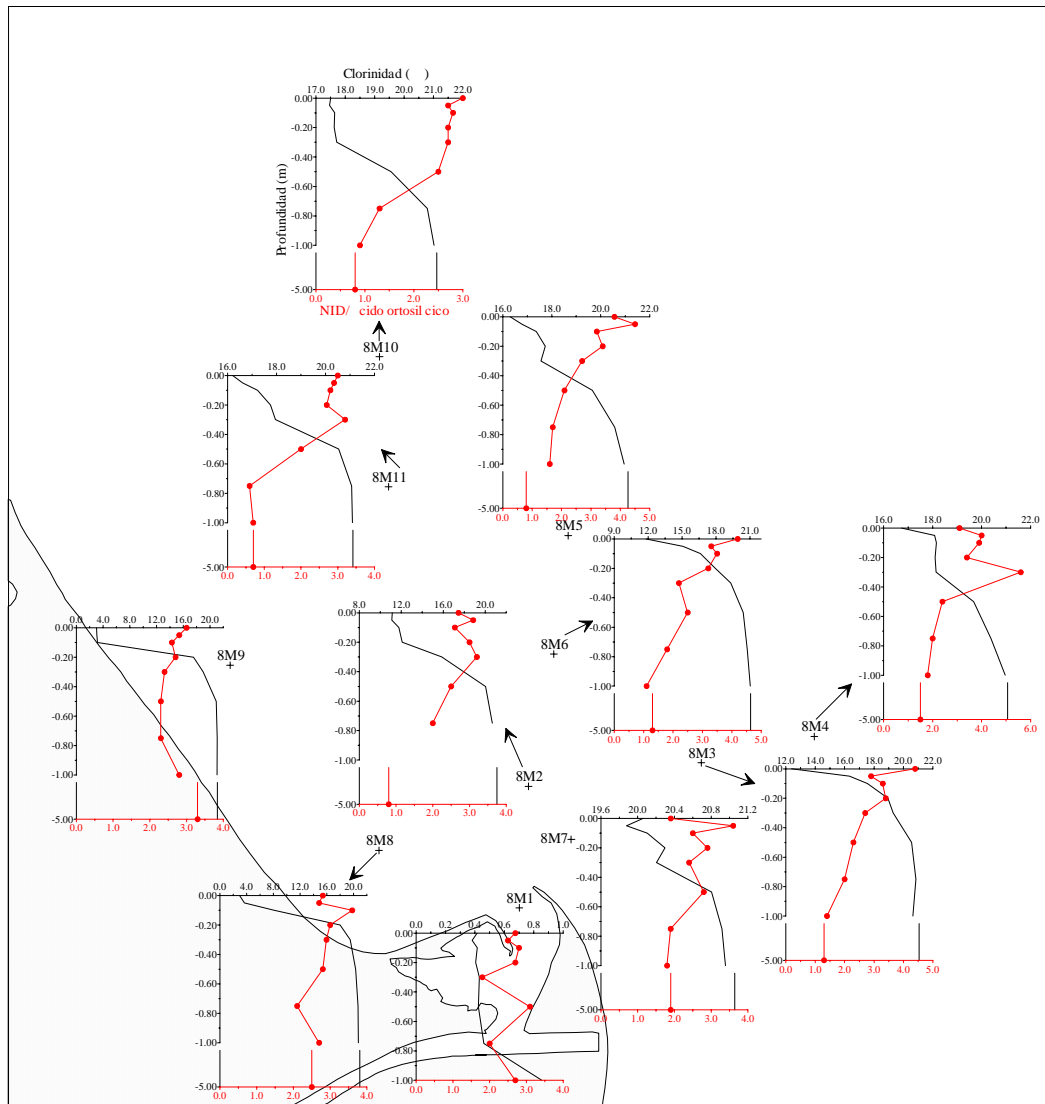


Figura 4.8.54. Perfiles verticales de NID/ácido ortosilícico. Muestreo 8.

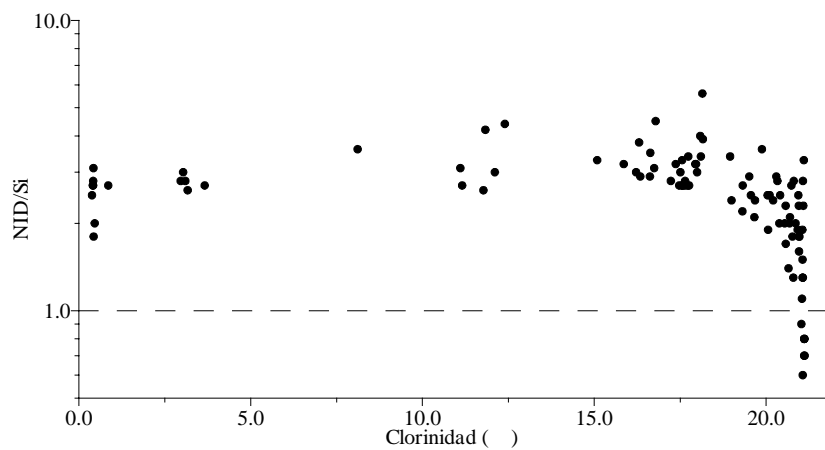


Figura 4.8.55. NID/ácido ortosilícico vs clorinidad en el muestreo 8.

4.8.13.- Tratamiento estadístico

Se ha realizado el análisis factorial incluyendo las 9 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT, ácido ortosilícico y clorofila *a*. La matriz

de correlación anti-imagen mostrada en la tabla 4.8.14 nos indica que todas las variables son idóneas para el tratamiento estadístico.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil	Clorofila
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	2.330E-03	9.623E-04	2.256E-03	2.619E-03	1.453E-03	-7.250E-05	2.475E-03	1.799E-03	1.421E-03
	Amonio	9.623E-04	1.685E-02	-1.046E-03	2.688E-03	1.830E-02	-5.937E-04	1.818E-04	-4.439E-03	2.646E-02
	Nitrito	2.256E-03	-1.046E-03	6.117E-03	7.826E-04	-4.961E-03	-8.839E-04	1.745E-04	5.066E-04	-4.989E-03
	Nitrato	2.619E-03	2.688E-03	7.826E-04	2.523E-02	3.420E-03	1.172E-03	-7.219E-03	-6.062E-04	1.608E-02
	PSR	1.453E-03	1.830E-02	-4.961E-03	3.420E-03	0.133	-1.972E-02	-8.017E-03	-1.506E-03	3.185E-02
	PDT	-7.250E-05	-5.937E-04	-8.839E-04	1.172E-03	-1.972E-02	4.469E-02	-1.283E-02	-2.231E-03	1.395E-02
	PT	2.475E-03	1.818E-04	1.745E-04	-7.219E-03	-8.017E-03	-1.283E-02	2.901E-02	3.794E-03	-1.017E-02
	Ác. ortosil	1.799E-03	-4.439E-03	5.066E-04	-6.062E-04	-1.506E-03	-2.231E-03	3.794E-03	4.904E-03	-8.703E-03
	Clorofila	1.421E-03	2.646E-02	-4.989E-03	1.608E-02	3.185E-02	1.395E-02	-1.017E-02	-8.703E-03	7.854E-02
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.892</u>	0.154	0.598	0.342	8.250E-02	-7.105E-03	0.301	0.532	0.105
	Amonio	0.154	<u>0.876</u>	-0.103	0.130	0.386	-2.164E-02	8.222E-03	-0.488	0.727
	Nitrito	0.598	-0.103	<u>0.940</u>	6.299E-02	-0.174	-5.346E-02	1.310E-02	9.249E-02	-0.228
	Nitrato	0.342	0.130	6.299E-02	<u>0.953</u>	5.901E-02	3.490E-02	-0.267	-5.449E-02	0.361
	PSR	8.250E-02	0.386	-0.174	5.901E-02	<u>0.942</u>	-0.256	-0.129	-5.894E-02	0.312
	PDT	-7.105E-03	-2.164E-02	-5.346E-02	3.490E-02	-0.256	<u>0.962</u>	-0.356	-0.151	0.236
	PT	0.301	8.222E-03	1.310E-02	-0.267	-0.129	-0.356	<u>0.940</u>	0.318	-0.213
	Ác. ortosil	0.532	-0.488	9.249E-02	-5.449E-02	-5.894E-02	-0.151	0.318	<u>0.894</u>	-0.443
	Clorofila	0.105	0.727	-0.228	0.361	0.312	0.236	-0.213	-0.443	<u>0.828</u>

Tabla 4.8.14. Matriz anti-imagen para el muestreo 8.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.914, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Maravilloso”. Este análisis nos reduce estas 9 variables a un solo componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 93.086% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.8.15. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	8.378	93.086	93.086
2	0.306	3.395	96.481
3	0.190	2.111	98.592
4	5.063E-02	0.563	99.155
5	3.883E-02	0.431	99.586
6	2.104E-02	0.234	99.820
7	9.192E-03	0.102	99.922
8	5.258E-03	5.842E-02	99.981
9	1.748E-03	1.943E-02	100.000

Tabla 4.8.15. Varianza total explicada.

La matriz del único componente extraído se muestra en la tabla 4.8.16.

	Componente 1
Clorinidad	-0.997
Amonio	0.966
Nitrito	0.995
Nitrato	0.983
PSR	0.916
PDT	0.975
PT	0.984
Ácido ortosili.	0.992
Clorofila	0.866

Tabla 4.8.16. Matriz de componentes para el muestreo 8.

De nuevo los aportes continentales juegan un papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados están íntimamente relacionados con la clorinidad, teniendo una pauta contraria a ésta.

4.9.- Comparación entre muestreos y campañas

Como ya se vio anteriormente, el análisis factorial realizado en cada uno de los muestreos nos reduce todas las variables a un único componente, lo que dificulta en gran medida la comparación entre las distintas campañas. Se ha realizado también un Análisis Factorial englobando todas las campañas de muestreo, con 8 variables, clorinidad, amonio, nitrato, nitrito, PSR, PDT, PT y ácido ortosilícico. No se ha incluido la clorofila *a* porque la matriz de correlación anti-imagen obtenida nos indica que debe eliminarse al tener una medida de adecuación muestral pequeña. La matriz de correlación anti-imagen que se ha obtenido con estas 8 variables se muestra en la tabla 4.9.1.

		Clorinidad	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	PDT	PT	Ác. ortosil
Covarianza anti-imagen	Clorinidad	3.728E-02	-1.812E-02	-1.941E-02	4.479E-02	8.133E-03	1.885E-03	3.145E-02	2.136E-02
	Amonio	-1.812E-02	0.343	2.600E-02	-4.210E-02	4.607E-02	-5.353E-03	2.606E-02	-7.880E-02
	Nitrito	-1.941E-02	2.600E-02	0.131	-4.013E-02	-6.979E-03	-1.915E-02	1.436E-02	-4.266E-02
	Nitrato	4.479E-02	-4.210E-02	-4.013E-02	7.514E-02	1.573E-02	-6.277E-03	7.881E-03	3.277E-02
	PSR	8.133E-03	4.607E-02	-6.979E-03	1.573E-02	9.402E-02	-4.794E-02	1.741E-02	-2.057E-02
	PDT	1.885E-03	-5.353E-03	-1.915E-02	-6.277E-03	-4.794E-02	7.162E-02	-2.742E-02	-5.486E-03
	PT	3.145E-02	2.606E-02	1.436E-02	7.881E-03	1.741E-02	-2.742E-02	0.201	-5.855E-03
	Ác. ortosil	2.136E-02	-7.880E-02	-4.266E-02	3.277E-02	-2.057E-02	-5.486E-03	-5.855E-03	5.494E-02
Correlación anti-imagen	Clorinidad	<u>0.805</u>	-0.160	-0.278	0.846	0.137	3.648E-02	0.363	0.472
	Amonio	-0.160	<u>0.848</u>	0.123	-0.262	0.257	-3.418E-02	9.933E-02	-0.574
	Nitrito	-0.278	0.123	<u>0.891</u>	-0.405	-6.294E-02	-0.198	8.859E-02	-0.503
	Nitrato	0.846	-0.262	-0.405	<u>0.758</u>	0.187	-8.556E-02	6.413E-02	0.510
	PSR	0.137	0.257	-6.294E-02	0.187	<u>0.887</u>	-0.584	0.127	-0.286
	PDT	3.648E-02	-3.418E-02	-0.198	-8.556E-02	-0.584	<u>0.917</u>	-0.229	-8.747E-02
	PT	0.363	9.933E-02	8.859E-02	6.413E-02	0.127	-0.229	<u>0.948</u>	-5.572E-02
	Ác. ortosil	0.472	-0.574	-0.503	0.510	-0.286	-8.747E-02	-5.572E-02	<u>0.809</u>

Tabla 4.9.1. Matriz anti-imagen para los 8 muestreos.

La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es de 0.854, que según lo indicado por Sharma (1996) es “Meritorio”. Este análisis nos reduce estas 9 variables a un solo factor o componente con un autovalor mayor de 1, que explica el 81.131% de la varianza total, como se observa en la tabla 4.9.2. La existencia de un solo factor hace imposible la rotación.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	6.490	81.131	81.131
2	0.546	6.822	87.953
3	0.485	6.060	94.013
4	0.215	2.686	96.700
5	0.126	1.573	98.273
6	6.939E-02	0.867	99.141
7	4.711E-02	0.589	99.729
8	2.165E-02	0.271	100.000

Tabla 4.9.2. Varianza total explicada.

La matriz del único componente extraído se muestra en la tabla 4.9.3.

	Componente 1
Clorinidad	-0.954
Amonio	0.751
Nitrito	0.923
Nitrato	0.862
PSR	0.909
PDT	0.956
PT	0.882
Ácido ortosili.	0.951

Tabla 4.9.3. Matriz de componentes para los 8 muestreos.

Este análisis factorial indica que:

- Los aportes continentales juegan un papel fundamental en la distribución de la pluma fluvial, y todos los parámetros estudiados están íntimamente relacionados con la clorinidad.
- La clorinidad tiene aproximadamente el mismo peso que el resto de variables pero de signo contrario, lo que nos indica que los nutrientes poseen una pauta inversa a la de la clorinidad.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, las estaciones de muestreo se han elegido en función de la ubicación y distribución de la influencia fluvial. Por ello, estos puntos de muestreo no son fijos a lo largo de las diferentes campañas, y aunque así lo fuera la clorinidad/salinidad variaría. Por esta razón, a la hora de comparar las variaciones de concentración y el comportamiento de los distintos parámetros entre los diferentes muestreos y campañas, hemos decidido hacerlo utilizando las curvas nutriente/clorinidad. Esto nos permite comparar las variaciones de los parámetros para niveles equivalentes de clorinidad, que es el parámetro, en principio, determinante de la distribución de los restantes.

La alta relación encontrada entre la clorinidad y los nutrientes facilita las comparaciones utilizando las regresiones lineales entre ellas. Estas se han calculado mediante el programa estadístico Statgraphics Plus 5.0 eliminando las muestras cuyos residuales son mayores de 3 (en valor absoluto) al ser puntos “outliers”. En la tabla 4.9.4 se muestra estas regresiones para cada uno de los muestreos.

Muestreo		Ecuación lineal	r ²
1 6 abril 1999	Amonio	0.4988-0.0112*Clorinidad	0.0501
	Nitrato	168.3970-7.9963*Clorinidad	0.9748
	Nitrito	1.5760-0.0793*Clorinidad	0.9881
	PSR	0.9210-0.04550*Clorinidad	0.7554
	Ácido ortosilícico	29.2250-1.4906*Clorinidad	0.9455
	Clorofila <i>a</i>	24.1416-1.0870*Clorinidad	0.9573
2 10 julio 1999	Amonio	2.2577-0.0670*Clorinidad	0.2645
	Nitrato	142.7610-7.0887*Clorinidad	0.9783
	Nitrito	0.6990-0.0366*Clorinidad	0.8926
	PSR	1.2949-0.0653*Clorinidad	0.7482
	Ácido ortosilícico	60.7900-2.9040*Clorinidad	0.9832
	Clorofila <i>a</i>	15.2057-0.7334*Clorinidad	0.9058
3 11 julio 1999	Amonio	3.8759-0.09471*Clorinidad	0.3713
	Nitrato	131.8090-6.4826*Clorinidad	0.9556
	Nitrito	0.6377-0.0323*Clorinidad	0.9466
	PSR	0.7102-0.0365*Clorinidad	0.7769
	Ácido ortosilícico	64.3030-3.0549*Clorinidad	0.9810
	Clorofila <i>a</i>	20.7101-1.0043*Clorinidad	0.7871
4 8 octubre 1999	Amonio	8.6662-0.4400*Clorinidad	0.8852
	Nitrato	117.8290-5.5464*Clorinidad	0.9541
	Nitrito	3.1117-0.1544*Clorinidad	0.9925
	PSR	2.6301-0.1354*Clorinidad	0.9394
	Ácido ortosilícico	118.6300-5.7414*Clorinidad	0.9938
	Clorofila <i>a</i>	6.9678-0.3195*Clorinidad	0.8927
5 9 octubre 1999	Amonio	4.4900-0.1912*Clorinidad	0.7131
	Nitrato	127.7990-6.0687*Clorinidad	0.9917
	Nitrito	5.2644-0.2582*Clorinidad	0.9821
	PSR	2.4892-0.1232*Clorinidad	0.9027
	Ácido ortosilícico	110.8000-5.2744*Clorinidad	0.9898
	Clorofila <i>a</i>	8.1218-0.3071*Clorinidad	0.6021
6 10 octubre 1999	Amonio	3.1203-0.0668*Clorinidad	0.2516
	Nitrato	116.1450-5.5480*Clorinidad	0.9501
	Nitrito	4.4927-0.2148*Clorinidad	0.9961
	PSR	2.3441-0.1177*Clorinidad	0.9284
	Ácido ortosilícico	113.9200-5.4437*Clorinidad	0.9875
	Clorofila <i>a</i>	12.9480-0.5275*Clorinidad	0.7547
7 1 febrero 2000	Amonio	5.6468-0.2472*Clorinidad	0.9286
	Nitrato	186.0410-8.6478*Clorinidad	0.9884
	Nitrito	3.2675-0.1430*Clorinidad	0.9829
	PSR	1.6129-0.0778*Clorinidad	0.9372
	Ácido ortosilícico	64.9000-2.9957*Clorinidad	0.9964
	Clorofila <i>a</i>	6.4900-0.2570*Clorinidad	0.9014
8 4 febrero 2000	Amonio	8.3001-0.3900*Clorinidad	0.9769
	Nitrato	195.9910-9.0944*Clorinidad	0.9911
	Nitrito	2.9591-0.1374*Clorinidad	0.9940
	PSR	0.7788-0.0359*Clorinidad	0.8654
	Ácido ortosilícico	73.6110-3.4220*Clorinidad	0.9960
	Clorofila <i>a</i>	5.2516-0.2056*Clorinidad	0.8680

Tabla 4.9.4. Regresiones lineales para cada uno de los muestreos.

Estas regresiones lineales van a utilizarse para comparar entre muestreos de la misma campaña y posteriormente entre las 4 campañas realizadas.

➤ Comparación entre muestreos de la misma campaña

- Muestras 2 y 3 (10 y 11 de julio de 1999)

En la figura 4.9.1 se ha representado las variaciones de cada nutriente con la clorinidad para los dos días de muestreo.

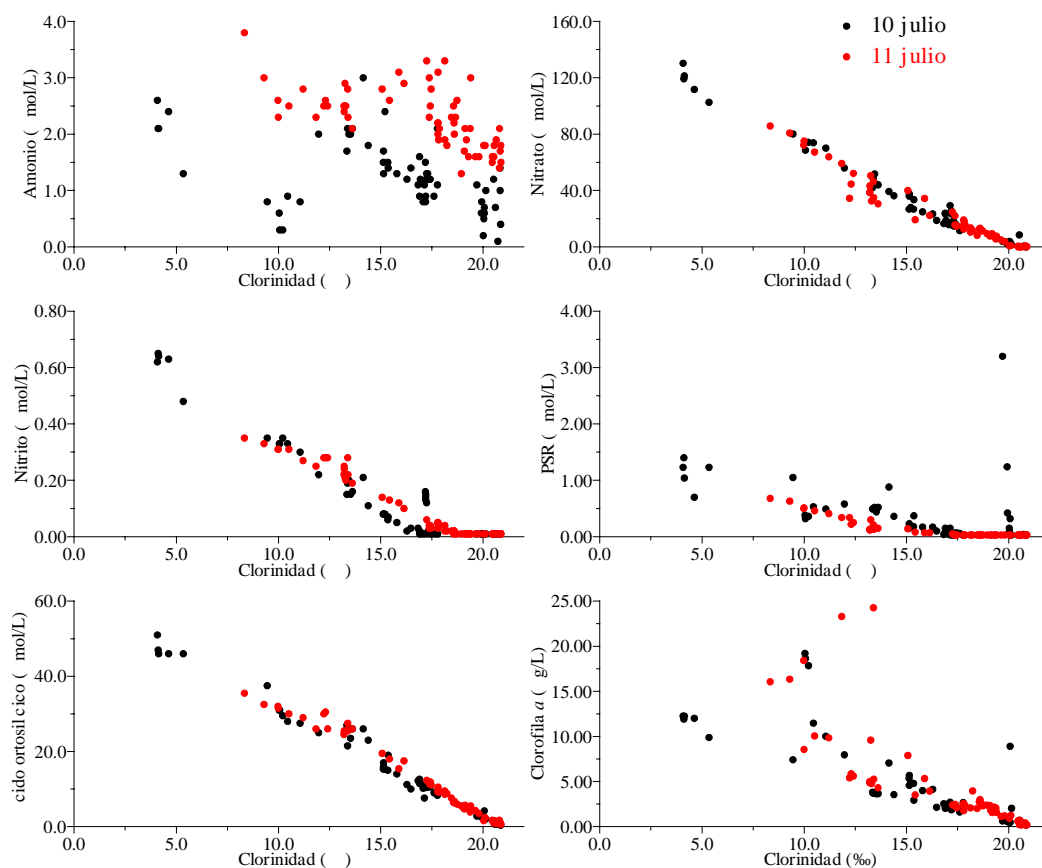


Figura 4.9.1. Variaciones de nutrientes frente a la clorinidad. Muestras 2 y 3.

A partir de la observación de las distintas gráficas, se puede decir para los diferentes parámetros:

- Amonio: para clorinidades similares existe mayor cantidad de amonio, especialmente en los puntos más salinos, el día 11 de julio. Como ya se ha dicho anteriormente se dio un crecimiento de la población fitoplanctónica entre el 10 y el 11, como lo demuestra el descenso de los valores de nitrato y PSR para los mismos niveles de clorinidad en el día 11. Este crecimiento no ha dado lugar a un aumento de la biomasa (clorofila *a*) debido a la actividad herbívora del zooplancton, y las excreciones derivadas de ella son las causantes del aumento de la concentración de amonio. Este aumento no solo ha afectado a las capas superficiales donde prolifera el fitoplancton, sino que la alta movilidad de la

comunidad zooplanctónica ha dado lugar a un aumento de la concentración en las capas más profundas al trasladarse a ellas el zooplancton. Así, aunque en ambos muestreos se aprecia ganancias en la mezcla, éstas son más acusadas el 11 de julio y en las zonas más profundas y salinas. Solamente en el 10 de julio se observan algunas pérdidas en la zona intermedia. Las regresiones lineales obtenidas (Tabla 4.9.4) dejan patente el comportamiento claramente no conservativo de este nutriente ($r^2=0.2645$ y 0.3713).

- Nitrato: Las concentraciones en ambos muestreos son muy similares en todo el rango de clorinidad. El comportamiento general es conservativo, aunque las pérdidas son más marcadas en el 11 de julio, debido al mayor crecimiento de la población fitoplanctónica, como anteriormente dijimos. Los coeficientes de determinación son bastante similares y próximos a la unidad para los dos días (0.9783 y 0.9556), indicándonos comportamientos bastante conservativos, aunque el del día 11 de julio es algo menor debido a las pérdidas antes comentadas.

- Nitrito: Para valores similares de clorinidad se encuentran mayores concentraciones de nitrito el día 11 de julio, que denotan o bien una elevada actividad nitrificante o bien las exudaciones del fitoplancton al consumir el nitrato, en todo caso achacables a un aumento de la actividad biológica (bien por absorción directa o por la nitrificación del amonio derivado del zooplancton). Aunque en ambos días de muestreo se producen pérdidas, éstas son menos acusadas el 11 de julio porque las entradas mencionadas compensan las pérdidas. Esto también queda patente en las regresiones lineales obtenidas, siendo el coeficiente de determinación menor el día 10 de julio (0.8926 para el 10 y 0.9466 para el 11 de julio).

- PSR: En general en todo el rango de salinidad las concentraciones del 10 de julio son mayores que las del 11, lo que pone de nuevo de manifiesto el crecimiento que se produce entre los dos muestreos que al absorber el fósforo ha dado lugar a la disminución de la concentración de este nutriente. De hecho, aunque en ambos muestreos se producen claras pérdidas, es en el del 11 de julio cuando mayores son. En este caso, los coeficientes de determinación obtenidos (0.7482 para el 10 y 0.7769 para el 11) no muestran el comportamiento menos conservativo del 11 de julio por la mayor dispersión de las muestras el día 10.

Estos valores relativamente bajos dejan patente que, exceptuando el amonio, es el PSR el nutriente que posee un comportamiento más alejado de la linealidad.

- Ácido ortosilícico: Igual que ocurre con el nitrato, las concentraciones de este nutriente son muy similares en todo el rango de salinidad. En ambos muestreos se aprecia un comportamiento bastante conservativo ($r^2=0.9832$ y 0.9810), si acaso con ligeras ganancias que cabría achacar a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas y/o del material mineral suspendido.

- Clorofila *a*: Para valores similares de clorinidad, las cantidades de clorofila *a* son mayores en algunos casos el día 11 pero en otros no sucede así. Esto puede ser achacado a que, a pesar de que entre ambos muestreos se ha dado un crecimiento de la población fitoplanctónica, la actividad del zooplancton (consumo y movimiento) ha jugado un papel fundamental en la distribución de éste y otros parámetros como el amonio.

- *Muestreos 4, 5 y 6 (8, 9 y 10 de octubre de 1999)*

En la figura 4.9.2 se representa las variaciones de cada nutriente con la clorinidad para los tres días de muestreo, a partir de las cuales podemos decir que:

- Amonio: Las mayores concentraciones en las zonas más dulces, para similares clorinidades, corresponden al día 8 de octubre, siendo las menores las del 10. Sin embargo, en las capas más salinas ocurre lo contrario, siendo mayores el día 10 y menores el 8 de octubre. Las concentraciones del día 9 de octubre son intermedias entre las anteriores. Los tres días se observaba similares comportamientos. Hay pérdidas en las zonas más dulces y salobres debido probablemente a que las salidas derivadas de la absorción fitoplanctónica y bacteriana son mayores que las entradas. En cambio se dan ganancias en las zonas más profundas y salinas, lo que parece deberse al movimiento del zooplancton hacia estas capas y la consiguiente liberación de amonio. Sin embargo la magnitud de estas pérdidas y ganancias es diferente en cada uno de los muestreos. Los coeficientes de determinación (0.8852 para el 8, 0.7131 para el 9 y 0.2516 para el 10) nos indican comportamientos poco conservativos, con un alejamiento progresivo de la linealidad a lo largo de la campaña de muestreo, lo que denota un aumento de la actividad de la comunidad planctónica en este tramo temporal.

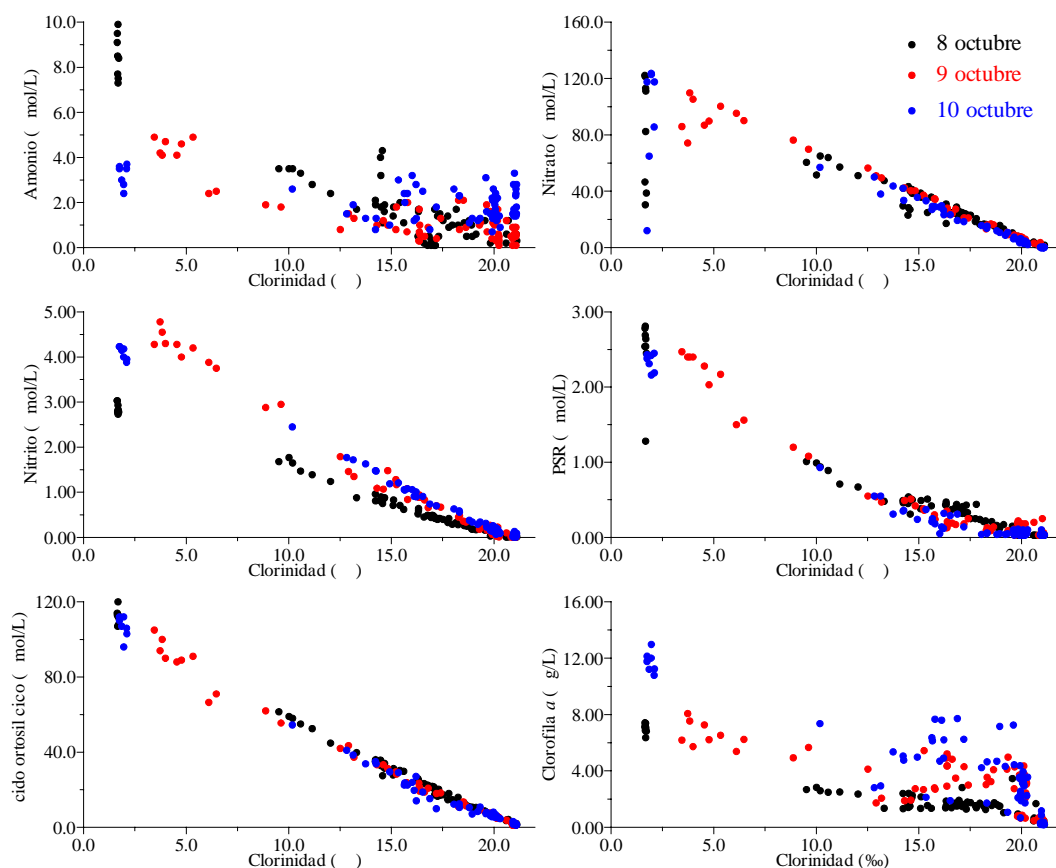


Figura 4.9.2. Variaciones de nutrientes frente a la clorinidad. Muestréos 4, 5 y 6.

- Nitro: Las concentraciones de nitro son muy similares los tres días de muestreo, mostrando incluso el mismo comportamiento, con pérdidas en las zonas más dulces y algo más conservativo en las salobres y salinas. Esto parece indicar un mayor consumo en las capas más superficiales que en las profundas. Se producen mayores pérdidas en las zonas más dulces los días 8 y 10 de octubre. En general hay una tendencia a disminuir la concentración a lo largo de la campaña aunque cabe destacar los valores relativamente más bajos que se dan en las capas más superficiales el día 8. El día 9 el nitro se comporta de manera más conservativa, como queda patente en los coeficientes de determinación obtenidos (0.9541 el 8, 0.9917 el 9 y 0.9501 el 10 de octubre).

- Nitrito: Existen diferencias tanto en sus concentraciones como en sus comportamientos en las capas más dulces y superficiales. Para similares valores de clorinidad, las mayores concentraciones se dan el 9 de octubre y las menores el 8, siendo las del 10 intermedias entre las anteriores. Además el comportamiento, aunque bastante próximo a la linealidad, varía en las zonas más dulces, siendo el 8 de octubre conservativo, el 9 con ligeras ganancias debidas a la exudación

autótrofa y a la nitrificación del amonio, y el 10 con ligeras pérdidas. Estas pérdidas y las que se producen en las capas más salinas en los tres muestreos serían achacables a la alta absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación. Estas diferencias no llegan a apreciarse en sus coeficientes de determinación (0.9925, 0.9821 y 0.9961), sí que se observa en sus ordenadas en el origen las mayores o menores concentraciones en las zonas de menor salinidad (3.1117 para el 8 de octubre, 5.2644 para el 9 y 4.4927 para el 10).

- PSR: Los rangos de variación en los tres muestreos son muy similares, si acaso algo superiores el 8 de octubre, llegando el 10 de octubre a valores cercanos al agotamiento en las muestras más salinas, lo que parece indicar un mayor consumo planctónico. El comportamiento general es de pérdidas en los tres muestreos, y los coeficientes de determinación así lo indican, 0.9394 el 8 de octubre, 0.9027 el 9 y 0.9284 el 10 de octubre, siendo valores algo lejanos a la unidad.

- Ácido ortosilícico: Igual que ocurre con el nitrato, este nutriente posee similares rangos de variación y comportamiento en los tres muestreos. En general se observa comportamientos bastante conservativos, con ligeras pérdidas achacables a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida. De hecho los coeficientes de determinación obtenidos son muy similares en los tres muestreos (0.9938, 0.9898 y 0.9875) y próximos a 1.

- Clorofila *a*: Los mayores valores se encuentran el día 10 de octubre en todo el rango de salinidad, siendo los menores el 8, como así queda patente en las regresiones lineales obtenidas cuyas ordenadas en el origen son de 6.9678 el 8 de octubre, 8.1218 el 9 y 12.9480 el 10. Se observa diferentes comportamientos. En los días 8 y 9 de octubre se producen pérdidas en las zonas más dulces y salobres debidas a una disminución del número de células fitoplanctónicas, por el estrés salino, por el consumo por parte del zooplancton, por una disminución de la fotosíntesis, etc, y ganancias en las más salinas por un mayor crecimiento de las comunidades planctónicas. Sin embargo el 10 de octubre predominan las ganancias en todo el rango de salinidad. Parece por tanto que al igual que en la campaña anterior, la permanencia de la pluma y, por ende, de los aportes continentales ha permitido el desarrollo de la comunidad planctónica. Y hablamos

de la comunidad en general por que los datos nos muestran un claro trasvase de nutrientes a lo largo de la columna de agua con un aumento progresivo de la concentración de amonio en las capas más bajas. No es de extrañar que no se dé el mismo fenómeno en el caso del PSR, ya que al ser el fósforo el nutriente limitante éste es rápidamente absorbido por la comunidad planctónica. De hecho podemos ver que las pérdidas de PSR en esta zona no se dan en el caso del PT que muestra incluso ganancias en estas capas. El aumento de la concentración de amonio en la zona más profunda y salina sólo puede explicarse por el movimiento del zooplancton herbívoro que se alimenta fundamentalmente en la capa más superficial. Estos aportes han permitido el crecimiento continuado del fitoplancton en las capas inferiores como lo muestra claramente los gráficos globales clorofila/clorinidad.

- *Muestras 7 y 8 (1 y 4 de febrero de 2000)*

En la figura 4.9.3 se representa las variaciones de cada nutriente con la clorinidad para los dos días de muestreo.

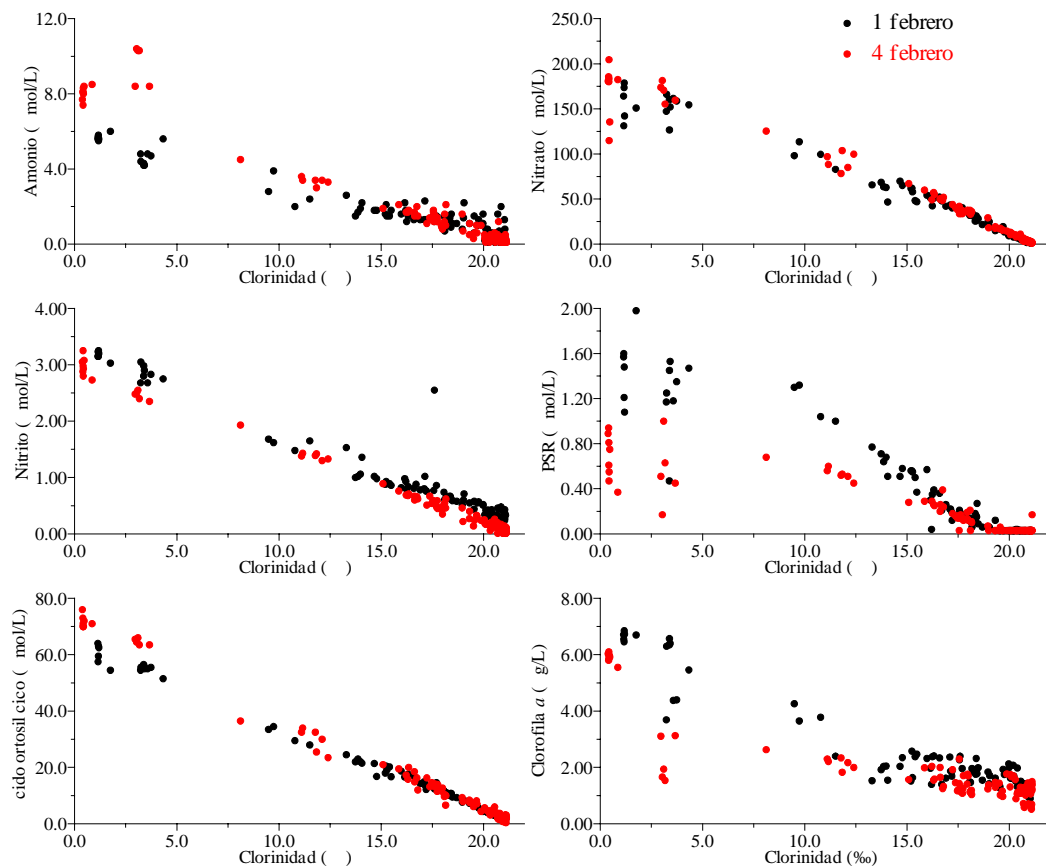


Figura 4.9.3. Variaciones de nutrientes frente a la clorinidad. Muestras 7 y 8.

En esta figura 4.9.3 podemos observar que:

- Amonio: Los rangos de variación de las concentraciones en esta campaña son mayores el 4 de febrero por sus altos valores en la zona más dulce de la pluma estuarina. Sin embargo no ocurre lo mismo en las capas más profundas y salinas, donde parece que el movimiento del zooplancton hacia estas zonas y la posterior liberación de amonio provoca un mayor aumento el 1 que el 4 de febrero. En las zonas dulces y salobres de ambas plumas fluviales se aprecian claras pérdidas achacables fundamentalmente a la absorción fitoplanctónica y bacteriana. Los coeficientes de determinación obtenidos en estos dos muestreos (0.9286 y 0.9769) nos indican que en esta campaña el amonio posee una alta relación lineal con la clorinidad, relación que no se observa en las otras campañas analizadas.

- Nitrato: Este nutriente posee similares rangos de variación y comportamiento en ambos muestreos, como también ocurre en otras campañas. El comportamiento es bastante conservativo (los coeficientes de determinación son similares, 0.9884 y 0.9911, y cercanos a 1), aunque en las zonas de menor clorinidad se aprecian ligeras pérdidas que pueden achacarse a la absorción por parte de la comunidad fitoplanctónica, y ligeras ganancias a mayores clorinidades probablemente debidas a la nitrificación del amonio excretado por el zooplancton.

- Nitrito: Las concentraciones son mayores el 1 que el 4 de febrero en todo el rango de clorinidad, probablemente debido a una mayor actividad nitrificante y/o a unas exudaciones del fitoplancton al consumir el nitrato, como también queda patente en las ordenadas en el origen obtenidas de las regresiones lineales (3.2675 y 2.9591, respectivamente). Sin embargo, y a pesar de estas diferencias en sus concentraciones, el comportamiento en ambos casos es muy similar. Se comporta de manera bastante conservativa, con ligeras pérdidas en las zonas dulces y salobres que serían achacables a la absorción fitoplanctónica y/o a la nitrificación. El día 1 hay más ganancias en la zona de alta salinidad achacables a razones similares a las del nitrato.

- PSR: Las concentraciones son mayores el 1 que el 4 de febrero en las capas más dulces y salobres, como queda también patente en las regresiones lineales obtenidas, cuyas ordenadas en el origen son 1.6129 y 0.7788 respectivamente. A pesar de esto, en las salinas no se aprecia diferencia alguna, llegando en ambos casos al agotamiento. Así, el comportamiento es idéntico, con

acusadas pérdidas en el rango de menor y mayor salinidad, y aproximadamente conservativo en las zonas intermedias y salobres. De nuevo queda patente el alto consumo y asimilación del fosfato por parte de los diversos organismos planctónicos. Sin embargo en la zona intermedia el sistema parece estar acoplado y la mineralización se compensa con la absorción. Las regresiones lineales obtenidas ponen de manifiesto el comportamiento menos conservativo que se produce el 4 de febrero ($r^2=0.8654$) respecto al 1 ($r^2=0.9372$).

- Ácido ortosilícico: Igual que ocurre con el amonio en las capas más dulces, las concentraciones son algo mayores el 4 que el 1 de febrero, probablemente debido a una menor absorción por diatomeas. Así se observa en su comportamiento, pues aunque en ambos casos puede considerarse bastante conservativo sobre todo en el rango de mayor salinidad ($r^2= 0.9964$ y 0.9960), se encuentran pérdidas en la zona más dulce el 1 de febrero debidas a la absorción por diatomeas y/o a la precipitación formando sílice mineral suspendida. Sin embargo el 4 de febrero se aprecian muy ligeras ganancias en la zona de menor clorinidad que podrían achacarse a la redisolución de la materia suspendida y/o a la disolución de las frústulas de las diatomeas vivas o muertas.

- Clorofila *a*: Para similares valores de clorinidad, las concentraciones de clorofila *a* son mayores el 1 que el 4 de febrero, como queda patente también en sus ordenadas en el origen (6.4900 y 5.2516, respectivamente). En ambos casos el comportamiento es similar, en las zonas de menor clorinidad encontramos concentraciones de clorofila menores de lo esperado por la mezcla física que podría achacarse al movimiento de las comunidades planctónicas y/o al efecto dañino de los rayos UV. Sin embargo a mayores clorinidades existe un aumento inesperado del número de células fitoplanctónicas indicando un mayor crecimiento algal. Parece que la actividad planctónica es mayor el 1 que el 4 de febrero.

➤ ***Comparación entre campañas***

En la figura 4.9.4 se representa las rectas obtenidas para cada uno de los nutrientes y para cada muestreo, cuyas ecuaciones ya se detallaron en la tabla 4.9.4.

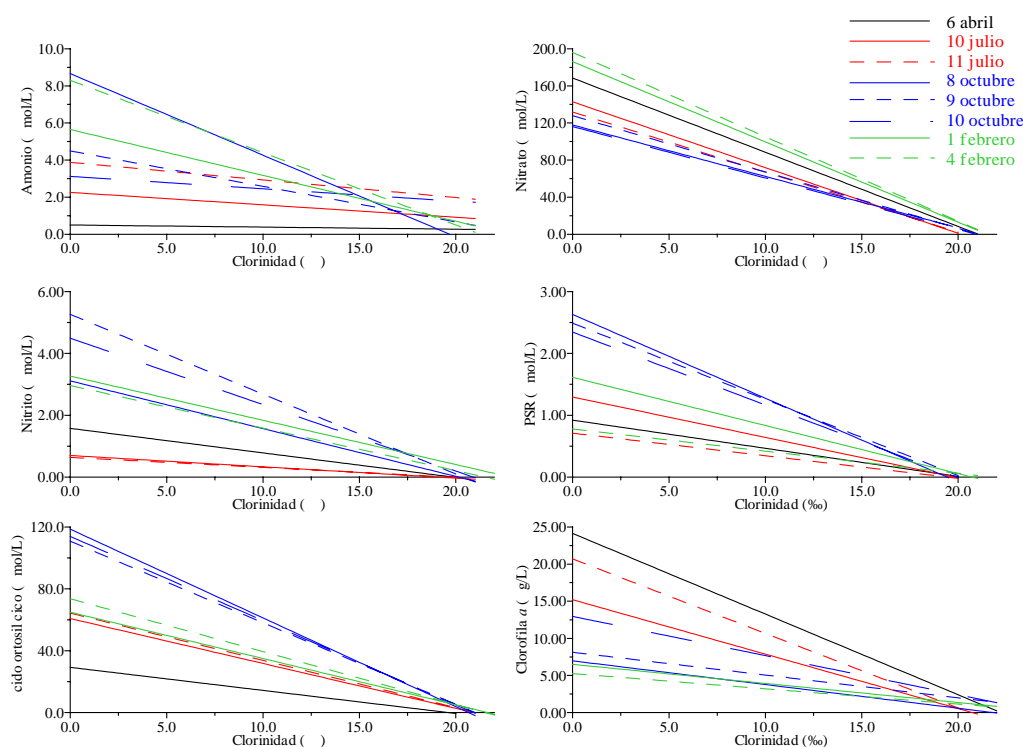


Figura 4.9.4. Regresiones lineales obtenidas para cada muestreo.

A la vista de estas gráficas mostradas en la figura 4.9.4 y todo lo señalado anteriormente en apartados anteriores, podemos decir que:

- Amonio: Los mayores aportes fluviales de este nutriente parecen producirse en los muestreos del 8 de octubre y 4 de febrero, seguidos del 1 de febrero, y las campañas de octubre y julio, produciéndose los menores en abril. No hay que olvidar que ésta es la forma preferente de nitrógeno para el consumo de las comunidades planctónicas y que además tiene múltiples entradas y salidas, razón por la cual no se observa diferencias muy claras entre campañas en estos aportes. En abril hay pérdidas claras en toda la pluma debido a la alta actividad fitoplanctónica. En la campaña de julio predominan las ganancias, mientras que en las de octubre y febrero predominan las pérdidas en las zonas dulces y salobres y las ganancias en las zonas más salinas debido probablemente al movimiento de las comunidades de zooplankton a lo largo de la columna de agua con la posterior eliminación de amonio. Esta actividad heterótrofa provoca que las mayores concentraciones en las capas más salinas se den en las campañas de octubre y julio.

- Nitrito: Los mayores aportes fluviales de este nutriente tienen lugar en las campañas de febrero, seguidas por las de abril y julio y siendo las menores las de

octubre. El comportamiento de este nutriente en las capas de menor clorinidad es similar en todas las campañas, como se vio anteriormente, predominando las pérdidas debidas a la absorción fitoplanctónica, siendo mayores en octubre y febrero, seguidas por abril, mientras que en la campaña de julio éstas son de pequeña magnitud. En las capas más salinas existen diferentes comportamientos, desde pérdidas como ocurre en julio, a aproximadamente conservativo como en abril, octubre y febrero. Las concentraciones en estas capas más salinas son bastante similares en todas las campañas y no existen diferencias significativas.

- Nitrito: Los mayores aportes fluviales de esta forma de nitrógeno se dan en los muestreos del 9 y 10 de octubre, seguida por la campaña de febrero, el muestreo del 8 de octubre, y las campañas de abril y julio, siendo en esta última donde menores valores de nitrito se encuentran. El comportamiento de este nutriente varía desde pérdidas en las campañas de abril y julio, achacables a la actividad planctónica y nitrificación, hasta comportamientos más conservativos o con ligeras pérdidas en las campañas de octubre y febrero. Es de resaltar los aumentos de concentración que se producen en las capas de agua más salinas de la campaña de febrero, aumento que no está condicionado por los aportes fluviales sino más bien por procesos internos. Hay que tener en cuenta que el paso de nitrito a nitrato se ve más influido negativamente por la temperatura que el de amonio a nitrito, por lo que es normal que en invierno sean mayores las concentraciones de nitrito.

- PSR: Los aportes fluviales de este nutriente son mayores en las campañas de octubre, seguidas por las de febrero, julio y abril. El comportamiento de este nutriente es idéntico en todas las campañas, pérdidas más o menos acusadas debido a la absorción planctónica. Estas pérdidas son más dramáticas en las campañas de abril y julio por la mayor actividad planctónica. En las capas de mayor clorinidad no se observan diferencias significativas entre las diferentes campañas, estando todas ellas en concentraciones cercanas o en el agotamiento.

- Ácido ortosilícico: Los mayores aportes fluviales de este nutriente se producen en las campañas de octubre, seguidas por febrero y julio, siendo las de abril las menores. En abril se producen pérdidas acusadas en toda la columna de agua. De hecho es en esta campaña cuando se localizan concentraciones cercanas

al agotamiento a partir de clorinidades de 18‰, lo que indica un alto consumo por parte de diatomeas. En julio se comporta de manera bastante conservativa, si acaso con ligeras ganancias. En octubre es bastante conservativo con ligeras pérdidas. En febrero es bastante conservativo, con ligeras pérdidas el 1 de febrero y ligeras ganancias el 4 de febrero. Las concentraciones en las capas más salinas están bastante condicionadas por los mayores o menores aportes fluviales, y así en la campaña de abril estos menores aportes unidos al alto consumo por parte de las diatomeas provoca que se llegue al agotamiento. Este consumo por parte de la población de diatomeas provoca que el comportamiento en la campaña de abril sea más similar al del PSR, mientras que en las restantes al no ser significativa la influencia de la comunidad fitoplanctónica el comportamiento es más similar al del nitrato.

- Clorofila *a*: Los mayores valores en las capas más dulces se encuentran en abril, seguidos de julio, octubre y siendo menores en febrero, debido a las mayores temperaturas e irradiación solar que se producen en primavera y verano. En cambio en el rango más salino se producen aumentos en los meses de octubre y febrero, llegando a ser incluso algo mayores a los encontrados en julio y abril. El comportamiento es aproximadamente lineal en abril. En julio existen diferencias, encontrando comportamientos que van desde pérdidas, ganancias o conservativos el 10 de julio, hasta ganancias claras el 11 de julio. En cambio en las campañas de octubre y febrero encontramos similitudes, con pérdidas en las capas más dulces y ganancias en las más profundas y salinas, excepto el 10 de octubre en el que las ganancias se producen en todo el rango de salinidad.

Con todo lo anterior, podemos decir que es en la campaña de abril cuando mayor crecimiento fitoplanctónico hay, pues los valores de clorofila *a* son los mayores, el ácido ortosilícico llega al agotamiento y lógicamente es la campaña con mayores pérdidas de PSR y amonio. De todas maneras el nitrato y nitrito no son los menores, lo que indicaría también algún proceso de nitrificación además de la absorción planctónica.

Entre las campañas posteriores sería la de julio la que tiene mayor crecimiento, por sus mayores concentraciones de clorofila, que provoca que

encontremos valores menores de ácido ortosilícico, PSR y amonio. Tanto el nitrito como el nitrato son inferiores a los encontrados en la campaña de primavera y superiores a los de otoño.

Las campañas de octubre y febrero poseen concentraciones y comportamientos de clorofila muy similares. Pero aunque los comportamientos de PSR, ácido ortosilícico y nitrito son similares, las concentraciones son algo mayores en octubre, lo que podría indicarnos un mayor aporte fluvial en octubre o un mayor consumo de las comunidades planctónicas en febrero. En cambio el nitrato y el amonio son en general mayores en febrero.

Como hemos podido observar existen diferencias entre las cuatro campañas de muestreo. Así queda patente en los análisis de Componentes Principales realizados con los coeficientes de determinación (r^2) y con las ordenadas en el origen (oo) de las regresiones lineales obtenidas:

- *Análisis de CP de los coeficientes de determinación (r^2).*

El análisis de CP nos reduce estas variables a dos factores o componentes con un autovalor mayor de 1, que explican el 67.536% de la varianza total, como se muestra en la tabla 4.9.5.

Componente	Autovalor	% de la varianza	% acumulado
1	2.83395	47.233	47.233
2	1.21823	20.304	67.536
3	0.978135	16.302	83.839
4	0.802845	13.381	97.219
5	0.130297	2.172	99.391
6	0.0365399	0.609	100.000

Tabla 4.9.5. Varianza total explicada.

En la tabla 4.9.6 se muestra la matriz de componentes obtenida.

	Componente 1	Componente 2
r^2 Amonio	0.52253	-0.299467
r^2 Nitrato	0.136267	-0.731504
r^2 Nitrito	0.338258	0.482106
r^2 PSR	0.541645	0.276498
r^2 Ácido ortosilícico	0.490475	-0.197909
r^2 Clorofila a	-0.245009	-0.164851

Tabla 4.9.6. Matriz de componentes.

En la figura 4.9.5 se ha representado los pesos sobre cada componente de cada una de las r^2 y de los 8 muestreos, donde se aprecia que cada una de las

campañas (primavera, verano, otoño e invierno) se halla separada de las demás, al poseer mayor o menor peso sobre cada uno de los dos componentes extraídos.

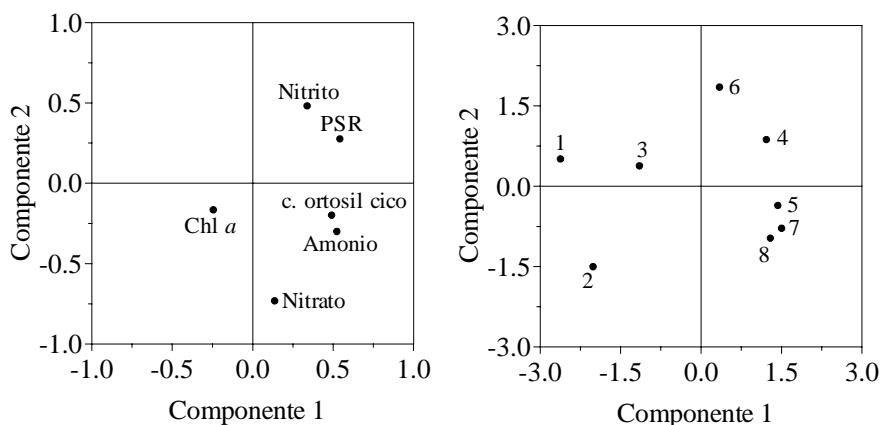


Figura 4.9.5. Gráfico de Componentes Principales.

El primer componente está formado por las r^2 de la clorofila *a* en negativo y todos los nutrientes en positivo. Dado que el fenómeno de shock salino implica la senescencia y sedimentación del material planctónico, si la clorofila *a* mantiene un comportamiento lineal ello conllevará necesariamente el crecimiento de la población fitoplanctónica y por ende la absorción de los nutrientes correspondientes, es decir, las desviaciones de éstos de la linealidad. Por tanto, con todas las restricciones que se pueda hacer, este componente sería indicador en sentido inverso del crecimiento de la población fitoplanctónica. En esta línea parece también lógico que sea el nitrato el que menos influencia tiene en este factor ya que es el nutriente menos afectado por el crecimiento del fitoplancton y el que menos se aleja de la linealidad al aumentar éste, siendo el PSR el caso opuesto al del nitrato. Las campañas de primavera y verano puntúan en negativo por que son las que menores r^2 de amonio y PSR tienen, es decir, en las que estos nutrientes se comportan de manera menos conservativa.

El segundo componente está formado por las r^2 del nitrato, amonio, ácido ortosilícico y clorofila *a* en negativo y las del nitrito y PSR en positivo. Cuanto más conservativo es el comportamiento del nitrito, y en menor medida el del PSR, mayor es el del nitrato. Y cuanto menos conservativo es el nitrato, y en menor medida el amonio y ácido ortosilícico, más conservativo es el nitrito y en menor medida el PSR. El muestreo 2 (10 de julio) es el de mayor peso en negativo debido a que posee el menor r^2 de nitrito. El 6 (10 de octubre) y en menor medida

el 4 (8 de octubre) son los que más puntúan en positivo al ser los de menor r^2 de nitrato.

- *Análisis de CP de las ordenadas en el origen.*

El análisis de CP nos reduce estas variables a dos factores o componentes con un autovalor mayor de 1, que explican el 86.760% de la varianza total, como se muestra en la tabla 4.9.7.

Componente	Autovalor	% de la varianza	% acumulado
1	3.56816	59.469	59.469
2	1.63746	27.291	86.760
3	0.589833	9.831	96.591
4	0.134792	2.247	98.837
5	0.064886	1.081	99.919
6	0.004876	0.081	100.000

Tabla 4.9.7. Varianza total explicada.

En la tabla 4.9.8 se muestra la matriz de componentes obtenida y en la figura 4.9.6 se ha representado los pesos sobre cada componente de cada una de las oo y de los 8 muestreos, donde se aprecia que cada una de las campañas (primavera, verano, otoño e invierno) se halla separada de las demás, al poseer mayor o menor peso sobre cada uno de los dos componentes extraídos.

	Componente 1	Componente 2
oo Amonio	-0.327683	0.501124
oo Nitrato	0.229113	0.656907
oo Nitrito	-0.442313	0.0205761
oo PSR	-0.467473	-0.281917
oo Ácido ortosilícico	-0.505245	-0.160514
oo Clorofila <i>a</i>	0.413143	-0.46009

Tabla 4.9.8. Matriz de componentes.

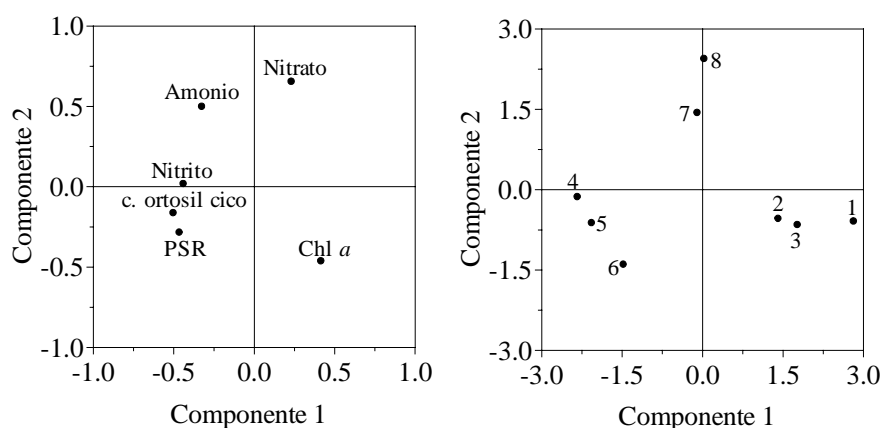


Figura 4.9.6. Gráfico de Componentes Principales.

El primer componente está formado por las ordenadas en el origen de la clorofila *a* y el nitrato en positivo y por el amonio, nitrito, PSR y ácido ortosilícico en negativo. A mayor concentración de clorofila más descenso se dará en la concentración de la mayor parte de nutrientes (con excepción del nitrato que es el menos afectado) y podríamos asimilar este componente a la biomasa o crecimiento del fitoplancton. Las campañas de abril y julio puntúan en positivo al tener las mayores concentraciones de clorofila *a*, mientras que la de octubre lo hace en negativo al poseer los mayores valores de nitrito, PSR y ácido ortosilícico. La de febrero es intermedia entre las anteriores y no influye en este componente.

El segundo componente está formado fundamentalmente por las ordenadas en el origen de nitrato, amonio y nitrito en positivo y PSR, ácido ortosilícico y clorofila *a* en negativo. La campaña de febrero tiene un gran peso positivo por ser la que mayores concentraciones de nitrato posee, mientras que las restantes puntúan en negativo. El mayor peso en negativo corresponde al muestreo del 10 de octubre al ser en el que encontramos bajas concentraciones de nitrato y relativamente altas de clorofila *a*.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

5.1.- Conclusiones

➤ *Respecto a la metodología*

- El uso del **SWAS** nos ha permitido obtener una gran precisión vertical, logrando recoger muestras de agua a unas profundidades de 0.00, 0.05 y 0.10 m y pudiendo observar claramente la estructura vertical de la columna de agua a pesar del pronunciado gradiente. De hecho no hay datos en la bibliografía que muestren resultados comparables a los que hemos obtenido con este método de muestreo. Aunque la información proporcionada por estas muestras más superficiales respecto a la clorinidad ya era conocida teóricamente, en los nutrientes sí que nos proporciona una muy buena información adicional. Hay que señalar que estos datos y las gráficas respectivas se ajustan perfectamente al modelo conceptual generalmente aceptado por la bibliografía científica. Lógicamente es en el campo de las pautas espaciales de la distribución vertical de nutrientes donde la información obtenida no tiene precedentes ni siquiera desde el punto de vista teórico.

- El método gráfico de las “**curvas de mezcla**” utilizado para explicar el comportamiento de los nutrientes en el proceso de mezcla da una buena aproximación visual de lo que realmente parece estar ocurriendo. Pero la elección de la línea de mezcla ideal resulta bastante problemática, sobre todo a la hora de definir adecuadamente la concentración del nutriente en el agua dulce.

➤ A la vista de los resultados obtenidos podemos asegurar que el funcionamiento del sistema está comandado por los aportes fluviales y su comportamiento condicionado por factores como vientos locales, oleaje, caudales, luz, temperatura, etc, presentando el medio marino receptor una elevada oligotrofia, de manera que para la mayor parte de los parámetros nutricionales estudiados se puede considerar que sus niveles son despreciables cuantitativamente frente a los aportes fluviales. Esto condiciona que no sufre cambios a lo largo de las diferentes estaciones del año. Por tanto la reducción del caudal y debido a ello de los aportes de nutrientes conllevaría efectos significativos en un ecosistema litoral que, a semejanza del Ródano o el Nilo, su principal fuente de nutrientes son estos aportes.

➤ ***Respecto a la Salinidad/Clorinidad/Conductividad.***

- Evidentemente, y debido a la diferencia de densidad entre las aguas dulces/salobres del río Ebro y las salinas del mar Mediterráneo, los valores de clorinidad son menores en las capas más superficiales, aumentando gradualmente al hacerlo la profundidad. El espesor de esta capa de agua dulce es pequeño y los mayores gradientes se producen generalmente en el primer metro de la columna de agua en las estaciones situadas en la desembocadura. El mayor o menor gradiente en éstas y en las restantes estaciones de muestreo depende tanto del caudal del río como de la velocidad y dirección del viento y del oleaje.

- En determinadas condiciones meteorológicas, en especial con calma y vientos locales del SE-E, pueden entrar aguas marinas por superficie, dando lugar a una inversión en la distribución vertical de salinidades.

- Aunque en general los valores de clorinidad van aumentando conforme nos alejamos de la desembocadura del río, al estar la ubicación de la pluma condicionada por los vientos locales éstos pueden dar lugar a que estaciones próximas a la boca (situadas en la misma dirección de donde sopla el viento) tengan menor influencia fluvial que otras más alejadas.

➤ ***Respecto a los nutrientes y la clorofila.***

- Las mayores concentraciones de nutrientes en la pluma varían de unos a otros.

- La preferencia por el amonio y PSR por parte de las comunidades planctónicas da lugar a que las mayores concentraciones se den cuando menor sea el crecimiento planctónico, es decir en otoño e invierno, encontrando las menores en primavera y verano.

- Las concentraciones de nitrato difieren de unas estaciones a otras dependiendo de los mayores o menores aportes fluviales del río Ebro.

- El nitrito sigue su ciclo estacional típico, con mayores concentraciones en las estaciones más frías.

- Las concentraciones de ácido ortosilícico dependen de la existencia o no de una floración de diatomeas, siendo menores cuando ésta se da.

- La influencia de la temperatura y la luz en el crecimiento de las comunidades planctónicas queda patente en las concentraciones de clorofila *a*, encontrando las mayores en primavera y verano y las menores en otoño y especialmente en invierno. Estas diferencias no son achacables a cambios en los aportes de nutrientes del río.

- Los nutrientes muestran una pauta en su distribución espacial que es en general inversa a la de la salinidad, es decir, la concentración tiende a aumentar y disminuir al hacerlo la principal fuente de nutrientes del sistema, los aportes fluviales. Esta pauta presenta discontinuidades que se dan fundamentalmente en dos zonas diferentes de la columna de agua:

- En las capas superficiales (0.00-0.20 cm) la actividad y movimiento de la comunidad planctónica provoca variaciones en todos los nutrientes, siendo de mayor magnitud en el amonio y el PSR.

- o En el primer caso por la conjunción de ser ésta una forma cuantitativamente reducida en lo que se refiere a los aportes de nitrógeno del río y que es la fuente preferencial de nitrógeno para el fitoplancton. A ello se une las numerosas entradas y salidas que tiene esta especie de nitrógeno.

- o En el segundo, al ser el fósforo el nutriente limitante, la actividad del plancton tiene repercusiones claramente mayores sobre este nutriente que sobre los restantes (más aún si tenemos en cuenta que los aportes fluviales presentan una relación N/P claramente deficitaria en fósforo).

- En las capas más profundas se dan aumentos de la concentración de amonio debido al movimiento y actividad del zooplancton, que con sus

excreciones libera amonio en estas capas más salinas. También se producen algunos aumentos para el PSR achacables a las mismas razones pero, al ser el nutriente limitante, el crecimiento del fitoplancton (determinado por los aumentos que se producen en la clorofila *a*) elimina este nutriente de la solución.

- En el proceso de mezcla se observa dos tipos de comportamientos claramente diferenciados:

- El consumo del PSR por parte de la comunidad planctónica queda patente en el comportamiento de éste, con pérdidas llamativas en todas las estaciones de año, llegando en múltiples ocasiones al agotamiento.

- En general el comportamiento del nitrato en la mezcla estuarina tiende a ser conservativo ya que el claro desequilibrio en los valores de partida con respecto al fósforo hace que las pérdidas debidas a la absorción planctónica no tengan un reflejo tan llamativo como en el caso ya comentado del PSR. En algunas ocasiones se dan ligeras ganancias que podría achacarse a la predominancia de la nitrificación sobre esta absorción en la parte más salina.

- Como en el caso del nitrato, también el nitrito tiende a tener un comportamiento conservativo.

- El ácido ortosilícico posee un comportamiento muy similar al del nitrato en la mayor parte de las campañas realizadas, pero en primavera, debido probablemente a una floración de diatomeas, éste se aproxima más al del PSR con pérdidas claras y concentraciones cercanas al agotamiento.

- Las particularidades del amonio, ya comentadas anteriormente, provocan múltiples desviaciones del comportamiento conservativo. La actividad y movimiento de las comunidades planctónicas da lugar a pérdidas claras en la mayor parte de las ocasiones en las capas dulces y salobres, y ganancias en las capas más salinas.

- Los elevados valores de la relación NID/PSR encontrados en la zona de estudio durante las 4 estaciones del año nos indican claramente, y sin ningún género de dudas, que es el fósforo, y no el nitrógeno, el nutriente que puede llegar a limitar el crecimiento de las poblaciones de fitoplancton. Y esto es más probable cuanto mayor es la clorinidad ya que estos valores van aumentando conforme lo hace ésta, llegando a valores muy altos por el agotamiento del PSR.

- Los elevados valores de la relación NID/Ácido ortosilícico que se dan en primavera nos indican que en esta época del año el ácido ortosilícico puede llegar a limitar el crecimiento de las diatomeas. Aunque en el resto de estaciones los valores son bastante menores, todos son superiores al valor límite de 1, con lo que aunque en estas condiciones la probable limitación de ácido ortosilícico no es tan evidente, cualquier mínimo cambio en las concentraciones del NID puede provocar una limitación de ácido ortosilícico para las poblaciones de diatomeas.

5.2.- Líneas futuras de investigación

A la vista de los resultados obtenidos consideramos que:

- Sería interesante ahondar en el estudio de la morfología y distribución de la pluma frente a variaciones de caudal, viento y oleaje, sobre todo teniendo presente el trasvase Ebro-Júcar-Segura previsto en el Plan Hidrológico Nacional y sus efectos sobre las comunidades piscícolas.
- Se debería avanzar en el estudio del comportamiento de los nutrientes (en un sentido amplio) en la pluma, estudiando:
 - la influencia de la biocenosis planctónica en dicho comportamiento
 - los cambios de composición de la comunidad de fitoplancton a lo largo del gradiente, y determinar qué grupos/especies sufren el shock salino y cuales aprovechan el aporte de nutrientes para crecer
 - los flujos verticales tanto de materia como de organismos a través de:
 - o Trampas de sedimentos para ver los organismos y el material que sedimenta a consecuencia del shock salino.
 - o Medidas de los cambios a corto plazo (diarios) de la comunidad planctónica para determinar los movimientos a lo largo de la columna de agua y su influencia en el balance de nutrientes.
 - otros nutrientes además del nitrógeno, fósforo y ácido ortosilícico, en especial hierro y manganeso, analizando su especiación.

REFERENCIAS

- Álvarez, M., 2000. Análisis estadístico con SPSS: Procedimientos básicos. Universidad de Deusto, Bilbao.
- Aminot, A., 1983. Mesure de la salinité. En: *Aminot, A. y M. Chaussepied (Eds.), Manuel des analyses chimiques en milieu marin. M. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Brest: 45-62.*
- Anónimo, 1966. International Oceanographic Tables. Joint panel on oceanographic tables and standards. UNESCO Publications Center, New York.
- APHA, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington.
- Asselin, S. y M.L. Spaulding, 1993. Flushing times for the Providence River based on tracer experiments. *Estuaries*, 16(4):830-839.
- Bendschneider, K. y R.J. Robinson, 1952. A new spectrophotometric determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*, 2:87-96.
- Berman, T., C. Béchemin y S.Y. Maestrini, 1999. Release of ammonium and urea from dissolved organic nitrogen in aquatic ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology*, 16:295-302.
- Bethoux, J.P., P. Morin, C. Madec y B. Gentili, 1992. Phosphorus and nitrogen behaviour in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research*, 39(9):1641-1654.
- Bianchi, M., Feliatra y D. Lefevre, 1999. Regulation of nitrification in the land-ocean contact area of the Rhone River plume (NW Mediterranean). *Aquatic Microbial Ecology*, 18(3):301-312.

- Biggs, R.B. y L.E. Cronin, 1981. Special characteristics of estuaries. En: *Neilson, B.J. y L.E. Cronin (Eds.), Estuaries and nutrients. Humana Press Inc., New Jersey*: 3-23.
- Bishop, S.S., K.A. Emmanuele y J.A. Yoder, 1984. Nutrient limitation of phytoplankton growth in Georgia nearshore waters. *Estuaries*, 7(48):506-512.
- Bisquerra Alzina, R., 1989. Introducción conceptual al análisis multivariable: Un enfoque informático con los paquetes SPSS-X, BMDP, LISREL y SPAD. Ed. Promociones y Publicaciones Universitarias, Barcelona.
- Blanton, J.O., J. Amft y T. Tissue, 1997. Response of a small-scale bottom-attached estuarine plume to wind and tidal dissipation. *Journal of Coastal Research*, 13(2):349-362.
- Blumberg, A.F., Z.G. Ji y C.K. Ziegler, 1996. Modelling outfall plume behaviour using far field circulation model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(11):610-616.
- Bode, A. y Q. Dortch, 1996. Uptake and regeneration of inorganic nitrogen in coastal waters influenced by the Mississippi River: Spatial and seasonal variations. *Journal of Plankton Research*, 18:2251-2268.
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel y H. Claustre, 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterisation. *Journal of Geophysical Research*, 100(C7):13321-13332.
- Broche, P., J.L. Devenon, P. Forget, J.C. de Maistre, J.J. Naudin y G. Cauwet, 1998. Experimental study of the Rhone plume. Part I: Physics and dynamics. *Oceanologica Acta*, 21(6):725-738.
- Brzezinski, M. y D. Nelson, 1995. The annual silica cycle in the Sargasso Sea near Bermuda. *Deep-Sea Research I*, 42:1215-1237.
- Burton, J.D., 1976. Basic properties and processes in estuarine chemistry. En: *Burton, J.D. y P.S. Liss (Eds.), Estuarine chemistry. Academic Press Inc., London*:1-36.

- Cacchione, D.A., D.E. Drake, M.A. Losada y R. Medina, 1990. Bottom-boundary-layer measurements on the continental shelf off the Ebro River, Spain. *Marine Geology*, 95:179-192.
- Chapelle, A., P. Laure y A. Ménesguen, 1994. Modelling eutrophication events in a coastal ecosystem. Sensitivity analysis. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 39:529-548.
- Chau, K.W. y H.S. Jin, 1998. Eutrophication model for a coastal Bay in Hong Kong. *Journal of Environmental Engineering*, 124(7):628-638.
- Christian, R., E. Forés, F. Comin, P. Viaroli, M. Naldi y I. Ferrari, 1996. Nitrogen cycling networks of coastal ecosystems: Influence of trophic status and primary producer form. *Ecological Modelling*, 87:111-129.
- Claustre, H., P. Kerhervé, J.-C. Marty y L. Prieur, 1994. Phytoplankton photoadaptation related to some frontal physical processes. *Journal of Marine Systems*, 5:251-265.
- Coakley, W.A., 1981. Handbook of automated analysis. Continuous flow analysis. Marcel Dekker, New York.
- Conley, D.J., 2000. Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies. *Hydrobiologia*, 410:87-96.
- Conley, D., C. Schelske y E. Stoermer, 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Marine Ecology Progress Series*, 101:179-192.
- Correll, D.L., 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2):261-266.
- Cotner, J.B., J.W. Ammerman, E.R. Peele y E. Bentzen, 1997. Phosphorus-limited bacterioplankton growth in the Sargasso sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 13(2):141-149.
- Crise, A., J.I. Allen, J. Baretta, G. Crispi, R. Mosetti y C. Solidoro, 1999. The mediterranean pelagic ecosystem response to physical forcing. *Progress in Oceanography*, 44:219-243.

- Crise, A., G. Crispi y E. Mauri, 1998. A seasonal three-dimensional study of the nitrogen cycle in the Mediterranean Sea: Part I. Model implementation and numerical results. *Journal of Marine Systems*, 18:287-312.
- Davies, A.M. y J.X. Xing, 1999. Sensitivity of plume dynamics to the parameterization of vertical mixing. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 30:357-405.
- Deya, M.M., 1981. Premières observations sur la distribution de l'oxygène dissous et des sels nutritifs dans trois régions de la Méditerranée occidentale. *Rapport Commission Internationale Mer Méditerranée*, 27(9):179-181.
- Díaz, J.I., C.H. Nelson, J.H. Barber y S. Giró, 1990. Late Pleistocene and Holocene sedimentary facies on the Ebro continental shelf. *Marine Geology*, 95:333-352.
- Dolz Ripollés, J.D., M. Gómez Valentín y J. Nieto Romeral, 1997. El Ebro en el Delta. *Revista de Obras Públicas*, 3368:7-14.
- Durand, N., A. Fiandrino, P. Fraunié, S. Ouillon, P. Forget y J.J. Naudin, 2002. Suspended matter dispersion in the Ebro ROFI: an integrated approach. *Continental Shelf Research*, 22:267-284.
- Estournel, C., V. Kondrachoff, P. Marsaleix y R. Vehil, 1997. The plume of the Rhone: numerical simulation and remote sensing. *Continental Shelf Research*, 17(8):899-924.
- Estrada, M., 1996. Primary production in the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina*, 60(Suppl 2):50-64.
- Estrum-Yousef, S.R. y A. Schoor, 2001. Seasonal variation of nitrogen transformations in the pelagial of selected nearshore waters of the Baltic Sea with emphasis on the particulate pool. *Hydrobiologia*, 450:19-30.
- Falco, S., 2003. Comportamiento de los nutrientes en un estuario estratificado: Caso del Delta del Ebro. PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Fernández Colomé, J.V., J. Camp Sancho y F.A. Comín, 1997. Los medios acuáticos del Delta del Ebro y su capacidad de producción. *Revista de Obras Públicas*, 3368:67-71.
- Ferrán, M., 2001. *SPSS para Windows: Análisis estadístico*. McGraw-Hill/Interamericana de España, Madrid.
- Flemer, D.A., 1969. Chlorophyll analysis as a method of evaluating the standing crop phytoplankton and primary productivity. *Chesapeake Science*, 10(3-4):301-306.
- Froelich, P.N., 1988. Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: A primer on the phosphate buffer mechanism. *Limnology and Oceanography*, 33(4, part 2):649-668.
- Fuentes, P., 1999. Niveles de eutrofia en el litoral de Benicasim-Castellón. PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- García, E., J. Gil y G. Rodríguez, 2000. *Análisis factorial*. Ed. La Muralla, S.A., Madrid.
- Gaudy, R., M. Bianchi, M. Pagano y Y. Soto, 1996. Cross frontal variability in hydrological and biological structures observed in a river plume area (Rhône Mouth, NW Mediterranean Sea). *Hydrobiologia*, 324(2):131-140.
- Geider, R.J. y J. Laroche, 1994. The role of iron in phytoplankton photosynthesis, and the potential for iron-limitation of primary productivity in the sea (Review). *Photosynthesis Research*, 39(3):275-301.
- Geyer, W.R. y D.M. Farmer, 1989. Tide-induced variation of the dynamics of a salt wedge estuary. *Journal of Physical Oceanography*, 19:1060-1072.
- Gjevik, B., H. Moe y A. Ommundsen, 2002. Idealized model simulations of barotropic flow on the Catalan shelf. *Continental Shelf Research*, 22:173-198.
- Goldman, J.C., J.J. McCarthy y D.G. Peavey, 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. *Nature*, 279:210-215.

- Gong, G., Y. Lee Chen y J. Liu, 1996. Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrient dynamics. *Continental Shelf Research*, 16:1561-1590.
- González, E., 1989. Producción primaria del fitoplancton y caracterización físicoquímica de las aguas del Cayo Dos Mosquises, Los Roques, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 28(1-2):35-45.
- Graneli, E., 1987. Nutrient limitation of phytoplankton biomass in a brackish water bay highly influenced by river discharge. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 25(5):555-565.
- Graneli, E., P. Carlsson y C. Legrand, 1999. The role of C, N and P in dissolved and particulate organic matter as a nutrient source for phytoplankton growth, including toxic species. *Aquatic Ecology*, 33:17-27.
- Grasshoff, K., 1976. *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie: Weinstein, New York.
- Harrison, P.J., M.H. Hu, P. Yang y X. Lu, 1990. Phosphate limitation in estuarine and coastal waters of China. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 140(1-2):79-87.
- Hecky, R.E. y P. Kilham, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnology and Oceanography*, 33(4, part 2):796-822.
- Herbert, R.A., 1999. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, 23:563-590.
- Herbland, A., D. Delmas, P. Laborde, B. Sautour y F. Artigas, 1998. Phytoplankton spring bloom of the Gironde plume waters in the Bay of Biscay: early phosphorus limitation and food-web consequences. *Oceanologica Acta*, 21(2):279-291.
- Herut, B., G. Tibor, Y.Z. Yacobi y N. Kress, 1999. Synoptic measurements of chlorophyll-a and suspended particulate matter in a transitional zone from polluted to clean seawater utilizing airborne remote sensing and ground

measurements, Haifa Bay (SE Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, 38(9):762-772.

Howarth, R.W., R. Marino y J.J. Cole, 1988a. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine, and marine ecosystems. 2. Biogeochemical controls. *Limnology and Oceanography*, 33(4, part 2):688-701.

Howarth, R.W., R. Marino, J. Lane y J.J. Cole, 1988b. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine, and marine ecosystems. 1. Rates and importance. *Limnology and Oceanography*, 33(4, part 2):669-687.

Ibàñez, C., 1993. Dinàmica hidrològica i funcionament ecològic del tram estuari del riu Ebre. PhD Thesis, Universitat de Barcelona, Barcelona, España.

Ibàñez, C., D. Pont y N. Prat, 1997. Characterization of the Ebre and Rhone estuaries: A basis for defining and classifying salt-wedge estuaries. *Limnology and Oceanography*, 42(1):89-101.

Ibàñez, C., N. Prat y A. Canicio, 1996. Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro river and its estuary. *Regulated Rivers-Research and Management*, 12(1):51-62.

Ibàñez, C., A. Rodríguez-Capitulo y N. Prat, 1995. The combined impact of river regulation and eutrophication on the dynamics of the salt. En: *Harper, D.M. y A.J.D. Ferguson (Eds.), The ecological basis for river management. John Wiley & Sons Ltd.*: 105-114.

Ibàñez, C., N. Prat, A. Canicio y A. Curcó, 1999. El delta del Ebro, un sistema amenazado. Bakeaz, Bilbao.

Irigoién X. y J. Castel, 1997. Light limitation and distribution of chlorophyll pigments in a highly turbid estuary - The Gironde (SW France). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 44(4):507-517.

Jaffe, D.A., 1994. The nitrogen cycle. En: *Butcher, S.S., R.J. Charlson, G.H. Orians y G.V. Wolfe (Eds.), Global biochemical cycles. Academic Press Limited, London*: 263-284.

- Jahnke, R.A., 1994. The phosphorus cycle. En: *Butcher, S.S., R.J. Charlson, G.H. Orians y G.V. Wolfe (Eds.), Global biochemical cycles, Academic Press Limited, London: 301-315.*
- Jeffrey, S.W. y G.F. Humphrey, 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, and c in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 167:191-194.
- Johnson, D.E., 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thomson Editores, México.
- Justic, D., N.N. Rabalais, R.E. Turner y Q. Dortch, 1995. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 40(4):339-356.
- Kennedy, I.R., 1986. Acid soil and acid rain. The impact on the environment of nitrogen and sulphur cycling. Research Studies Press Ltd., England.
- Kennish, M.J., 1997. Practical handbook of estuarine and marine pollution. CRC Press Marine Science Series., Florida.
- Ketchum, B.H., 1983. Estuarine characteristics. En: *Goodall, D.W. (Ed.), Ecosystems of the world n° 26. Estuaries and enclosed seas. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam: 1-14.*
- Kirkwood, D., A. Aminot y M. Pertillä, 1991. Report on the results of the fourth intercomparison exercise for nutrients in sea water. ICES Cooperative Research Report n° 174.
- Kress, N. y B. Herut, 1998. Hypernutrification in the oligotrophic eastern Mediterranean: A study in Haifa Bay (Israel). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 46(5):645-656.
- Krom, M.D., N. Kress, S. Brenner y L.I. Gordon, 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean sea. *Limnology and Oceanography*, 36(3):424-432.

- Kudo, I. y P.J. Harrison, 1997. Effect of iron nutrition on the marine cyanobacterium *Synechococcus* grown on different N sources and irradiances. *Journal of Phycology*, 33:232-240.
- Le Pape, O., Y. Del Amo, A. Menesguen, A. Aminot, B. Quequiner y P. Treguer, 1996. Resistance of a coastal ecosystem to increasing eutrophic conditions: The Bay of Brest (France), a semi-enclosed zone of western Europe. *Continental Shelf Research*, 16(15):1885-1907.
- L'Helguen, S., C. Madec y P. Le Corre, 1996. Nitrogen uptake in permanently well-mixed temperate coastal waters. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42(6):803-818.
- Li, Y.Q. y T.J. Smayda, 1988. Temporal variability of chlorophyll in Narragansett Bay, 1973-1990. *ICES Journal of Marine Science*, 55(4):661-667.
- Loder, T.C. y R.P. Reichard, 1981. The dynamics of conservative mixing in estuaries. *Estuaries*, 4(1):64-69.
- Lohrenz, S.E., G.L. Fahnenstiel, D.G. Redalje, G.A. Lang, M.J. Dagg, T.E. Whitledge y Q. Dortch, 1999. Nutrients, irradiance, and mixing as factors regulating primary production in coastal waters impacted by the Mississippi River plume. *Continental Shelf Research*, 19(9):1113-1141.
- Lopez-Veneroni, D. y L.A. Cifuentes, 1994. Transport of dissolved organic nitrogen in Mississippi river plume and Texas-Louisiana continental shelf near-surface waters. *Estuaries*, 17(4):796-808.
- MacIntyre, H.L., T.M. Kana y R.J. Geider, 2000. The effect of water motion on short-term rates of photosynthesis by marine phytoplankton. *Trends in Plant Science*, 5(1):12-17.
- MacIntyre, H.L., T.M. Kana, T. Anning y R.J. Geider, 2002. Photoacclimation of photosynthesis irradiance response curves and photosynthetic pigments in microalgae and cyanobacteria. *Journal of Phycology*, 38:17-38.
- Maestrini, S.Y., M. Breret, B.R. Berland, C. Bechemin, R. Poletti y A. Rinaldi, 1997. Nutrients limiting the algal growth potential (AGP) in the Po river plume

and an adjacent area, Northwest Adriatic sea - Enrichment bioassays with the test algae *Nitzschia Closterium* and *Thalassiosira Pseudonana* (Review). *Estuaries*, 20(2):416-429.

Magnien, R.E., R.M. Summers y K.G. Sellner, 1992. External nutrient sources, internal nutrient pools, and phytoplankton production in Chesapeake Bay. *Estuaries*, 15(4):497-516.

Maidana, M.A., J.J. Naudin, M. Espino, M.M. García y A. Sánchez-Arcilla, 2002. Feasibility and usefulness of steady-state calculations of the mean circulation in the vicinity of the Ebro mouth. Model tests against field data. *Continental Shelf Research*, 22:229-245.

Maldonado, C., J. Dachs y J.M. Bayona, 1999. Trialkylamines and coprostanol as tracers of urban pollution in waters from enclosed seas: The Mediterranean and Black Sea. *Environmental Science and Technology*, 33(9):3290-3296.

Marsaleix, P., C. Estournel, V. Kondrachoff y R. Vehil, 1998. A numerical study of the formation of the Rhone river plume. *Journal of Marine Systems*, 14(1-2):99-115.

Martin, J.H., K.H. Coale, K.S. Johnson, S.E. Fitzwater, R.M. Gordon, S.J. Tanner, C.N. Hunter, V.A. Elrod, J.L. Nowicki, T.L. Coley, R.T. Barber, S. Lindley, A.J. Watson, K. Vanscoy, C.S. Law, M.I. Liddicoat, R. Ling, T. Stanton, J. Stockel, C. Collins, A. Anderson, R. Bidigare, M. Ondrusek, M. Latasa, F. J. Millero y K. Lee, 1994. Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. *Nature*, 371(6493):123-129.

McCarthy, J.J., W.R. Taylor y J.L. Taft, 1977. Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. 1. Nutrient availability and phytoplankton preferences. *Limnology and Oceanography*, 22:996-1011.

Meadows, P.S. y J.I. Campbell, 1978. An introduction to marine science. Blackie and Son Limited, Glasgow.

- Ménesguen, A. y T. Hoch, 1997. Modelling the biogeochemical cycles of elements limiting primary production in the English Channel. 1. Role of thermohaline stratification. *Marine Ecology-Progress Series*, 146:173-188.
- Ménesguen, A., J. Guillaud, A. Aminot y T. Hoch, 1995. Modelling the eutrophication process in a river plume: the Seine case study (France). *Ophelia*, 42:205-225.
- Migon, C. y V. Sandroni, 1999. Phosphorus in rainwater: Partitioning inputs and impact on the surface coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, 44(4):1160-1165.
- Morel, F.M.M., J.R. Reinfelder, S.B. Roberts, C.P. Chamberlain, J.G. Lee y D. Yee, 1994. Zinc and carbon co-limitation of marine phytoplankton. *Nature*, 369(6483):740-742.
- Morris, A.W., J.I. Allen, R.J.M. Howland y R.G. Wood, 1995. The estuary plume zone: Source or sink for land derived nutrient discharges? *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 40:387-402.
- Moutin, T., P. Raimbault, H.L. Golterman y B. Coste, 1998. The input of nutrients by the Rhone river into the Mediterranean Sea: Recent observations and comparison with earlier data. *Hydrobiologia*, 373-374:237-246.
- Mulholland, M.R., P.M. Glibert, G.M. Berg, L. Van-Heukelem, S. Pantoja y C. Lee, 1998. Extracellular amino acid oxidation by microplankton: A cross-ecosystem comparison. *Aquatic Microbial Ecology*, 15:141-152.
- Mullin, J.B. y J.P. Riley, 1955. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to seawater. *Analytical Chemical Acta*, 12:162-170.
- Muñoz, I., 1989. Limnología de la parte baja del Río Ebro y los canales de riego: Los factores físico-químicos, el fitoplancton y los macroinvertebrados bentónicos. PhD Tesis, Universidad de Barcelona, Barcelona, España.
- Murphy, J. y J.P. Riley, 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural water. *Analytical Chemical Acta*, 27:31-36.

Myers, V.B. y R.I. Iverson, 1981. Phosphorus and nitrogen limited productivity in northeastern Gulf of Mexico coastal estuaries. En: *Neilson, B.J. y L.E. Cronin (Eds.), Estuaries and nutrients. Humana Press Inc., New Jersey: 569-582.*

Naudin, J.J., G. Cauwet, M.J. Chrétiennot-Dinet, B. Deniaux, J.L. Devenon y H. Pauc, 1997. River discharge and wind influence upon particulate transfer at the land-ocean interaction: Case study of the Rhone river plume. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 45(3):303-316.

Naudin, J.J., G. Cauwet, C. Fajon, L. Oriol, S. Terzic, J.L. Devenon y P. Broche, 2001. Effect of mixing on microbial communities in the Rhone River plume. *Journal of Marine Systems*, 28:203-227.

Nixon, S.W., 1981. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. En: *Neilson, B.J. y L.E. Cronin (Eds.), Estuaries and nutrients. Humana Press Inc., New Jersey: 111-138.*

Ochiai, E., 1985. Química bioinorgánica. Una introducción. Editorial Reverté, S.A., Barcelona.

O'Donnell, J., G.O. Marmorino y C.L. Trump, 1998. Convergence and downwelling at a river plume front. *Journal of Physical Oceanography*, 28(7): 1481-1495.

Paasche, E., 1980. Silicon. En: *Morris, I. (Ed.), The physiological ecology of the phytoplankton, Blackwell Scien. Publ.: 259-284.*

Pakulski, J.D., R. Benner, T. Whitledge, R. Amon, B. Eadie, L. Cifuentes, J. Ammerman y D. Stockwell, 2000. Microbial metabolism and nutrient cycling in the Mississippi and Atchafalaya river plumes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50:173-184.

Palanques, A. y D.E. Drake, 1990. Distribution and dispersal of suspended particulate matter on the Ebro continental shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 95:193-206.

Parsons, T.R., Y. Maita y C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, London.

- Pérès, J.M., 1980. La polución de las aguas marinas. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Pinilla López-Oliva, L., 1997. Evolución de la calidad del agua en el tramo inferior del Ebro. *Revista de Obras Públicas*, 3368:101-112.
- Pitkanen, H. y T. Tamminen, 1995. Nitrogen and phosphorus as production limiting factors in the estuarine waters of the eastern Gulf of Finland. *Marine Ecology-Progress Series*, 129(1-3):283-294.
- Pritchard, D.W., 1955. Estuarine circulation patterns. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 81:1-11.
- Pritchard, D.W., 1967. What is an estuary: Physical viewpoint. En: *Lauffed, G.H. (Ed.), Estuaries. American Association for the Advancement of Science, Publication 83, Washigton D.C.: 3-5.*
- Regnier, P., R. Wollast y C.I. Steefel, 1997. Long-term fluxes of reactive species in macrotidal estuaries: Estimates from a fully transient, multicomponent reaction-transport model. *Marine Chemistry*, 58(1-2):127-145.
- Riley, J.P. y R. Chester, 1971. *Introduction to marine chemistry*. Academic Press, London.
- Rodier, J., 1981. *Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar: Química, fisicoquímica, bacteriología, biología*. Omega, Paris.
- Rodríguez, J., 1982. *Oceanografía del mar Mediterráneo*. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid.
- Romero, I., S. Falco, J.G. Del Río y M. Rodilla, 2000. Comparison of different methods for the determination of total dissolved phosphorus (TDP) and total phosphorus (TP) in estuarine waters. *Proceedings of QUASIMEME-UKNMAQC Workshop on the Analysis of Total Nitrogen and Phosphorus, 25-26 mayo 2000, Lisburn (N. Ireland):196.*
- Ruddick, K.G., E. Deleersnijder, P.J. Luyten y J. Ozer, 1995. Haline stratification in the Rhine-Meuse freshwater plume. A three-dimensional model sensitivity analysis. *Continental Shelf Research*, 15(13):1597-1630.

- Sakshaug, E., A. Bricaud, Y. Dandonneau, P.G. Falkowski, D.D. Kiefer, L. Legendre, A. Morel, J. Parslow y M. Takahashi, 1997. Parameters of photosynthesis: Definitions, theory and interpretation of results. *Journal of Plankton Research*, 19(11):1637-1670.
- Salat, J., M.A. García, A. Cruzado, A. Palanques, L. Arín, D. Gomis, J. Guillén, A. De León, J. Puigdefàbregas, J. Sospedra y Z.R. Velásquez, 2002. Seasonal changes of water mass structure and shelf slope exchanges at the Ebro Shelf (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research*, 22:327-348.
- Sánchez-Arcilla, A., J.A. Jiménez, G. Gelonch y J. Nieto Romeral, 1997. El problema erosivo en el Delta del Ebro. *Revista de Obras Públicas*, 3368:23-32.
- Sanders, R., C. Klein y T. Jickells, 1997. Biogeochemical nutrient cycling in the Upper Great Ouse Estuary, Norfolk, U.K. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44:543-555.
- Seitzinger, S.P., 1988. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: Ecological and geochemical significance. *Limnology and Oceanography*, 33(4, part 2):702-724.
- Sellner, K.G. y M.E. Kachur, 1987. Phytoplankton: Relationships between phytoplankton, nutrients, oxygen flux and secondary producers. *Ecological studies in the middle reach of Chesapeake Bay: Calvert Cliffs. Lecture notes on Coastal and Estuarine Studies*, 23:12-37.
- Sharma, S., 1996. *Applied multivariate techniques*. John Wiley and Sons, New York.
- Shiah, F.K., S.J. Kao, G.C. Gong y K.K. Liu, 1996. Spatial variability of phytoplankton production and the implications of its controlling mechanisms in the coastal zone near the river mouth of the Lanyang Hsi. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 37:9-15.
- Shinn, M.B., 1941. Colorimetric method for the determination of nitrite. *Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition*, 13:33-35.

- Sierra, J.P., A. Sánchez-Arcilla, J. González del Río, J. Flos, E. Movellán, C. Mössö, R. Martínez, M. Rodilla, S. Falco y I. Romero, 2002. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. *Continental Shelf Research*, 22:361-378.
- Sierra, J.P., J. González del Río, J. Flos, A. Sánchez-Arcilla, E. Movellán, M. Rodilla, C. Mössö, R. Martínez, S. Falco, I. Romero y M.J. Velasco, 2001. Medición de parámetros físicos, biológicos y químicos en el tramo estuarino del Río Ebro. *Ingeniería del Agua*, 8(4):459-468.
- Sik-Lee, Y., T. Seike, T. Mukai, K. Takimoto y M. Okada, 1996. Limiting nutrients of phytoplankton community in Hiroshima Bay, Japan. *Water Research*, 30(6):1490-1494.
- Smayda, T.J., 1983. The phytoplankton of estuaries. En: *Ketchum, B. (Ed.) Ecosystems of the world, 26, Estuaries and enclosed seas. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam*: 65-102.
- Solòrzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnology and Oceanography*, 14:799-801.
- Soto, Y., M. Bianchi, J. Martínez y J. Vives-Rego, 1993. Seasonal evolution of microplanktonic communities in the estuarine front ecosystem of the Rhone river plume (North-western Mediterranean Sea). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 37:1-13.
- Stiling, P., 1999. *Ecology: theories and applications*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons, 1965. A manual of seawater analysis (with special reference to the more common micronutrients and to particulate material). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada Bulletin*, nº 125, 2nd ed., Ottawa.
- Strickland, J.D.H y T.R. Parsons, 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada. Queens Printer, Ottawa.

Stumpf, R.P., G. Gelfenbaum y J.R. Pennock, 1993. Wind and tidal forcing of a buoyant plume, Mobile-Bay, Alabama. *Continental Shelf Research*, 13(11):1281-1301.

Taft, J.L. y W.R. Taylor, 1975. Phosphorus dynamics in some coastal plain estuaries. En: *Wiley, M. (Ed.), Estuarine processes, volume I. Uses, stresses, and adaptation to the estuary. Academic Press, Inc., New York: 79-89.*

Tarapchak, S.J., 1983. Soluble reactive phosphorus measurements in lake water: Evidence for molybdate-enhanced hydrolysis. *Journal of Environmental Quality*, 12:105-108.

Thingstad, T.F. y F. Rassoulzadegan, 1995. Nutrient limitations, microbial food webs, and "biological C-pumps": Suggested interactions in a P-limited Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 117:299-306.

Thingstad, T.F., U. Li-Zweifel y F. Rassoulzadegan, 1998. P limitation of heterotrophic bacteria and phytoplankton in the northwest Mediterranean. *Limnology and Oceanography*, 43(1):88-94.

Thompson, P.A., 1998. Spatial and temporal patterns of factors influencing phytoplankton in a salt wedge estuary, the Swan river, Western Australia. *Estuaries*, 21(4B):801-817.

Torres, E.S. y J.G. Del Río, 1995. Spatial variations of phytoplankton community structure in a highly eutrophicated coast of the western Mediterranean Sea. *Water Science and Technology*, 32(9-10):313-322.

Treguer, P. y P. Le Corre, 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Université de Bretagne Occidentale, Brest.

Uncles, R.J., A.E. Easton, M.L. Griffiths, C. Harris, R.J.M. Howland, I. Joint, R.S. King, A.W. Morris y D.H. Plummer, 1998. Concentrations of suspended chlorophyll in the tidal Yorkshire Ouse and Humber Estuary. *The Science of the Total Environment*, 210-211:367-375.

- Vaulot, D., N. Lebot, D. Marie y E. Fukai, 1996. Effect of phosphorus on the *Synechococcus* cell cycle in surface Mediterranean waters during summer. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(7):2527-2533.
- Verity, P.G., J.O. Blanton, J. Amft, C. Barans, D. Knott, B. Stender y E. Wenner, 1988. Influences of physical oceanographic processes on chlorophyll distributions in coastal and estuarine waters of the South Atlantic Bight. *Journal of Marine Research*, 56(3):681-711.
- Vollenweider, R.A., A. Rinaldi, R. Viviani y E. Todini, 1996. Assessment of the state of eutrophication in the Mediterranean sea. MAP Technical Reports Series no. 106. UNEP., Athens.
- Wassmann, P. y T. Tamminen, 1999. Pelagic eutrophication and sedimentation in the Gulf of Riga: A synthesis. *Journal of Marine Systems*, 23:269-283.
- Webb, K.L., 1981. Conceptual models and processes of nutrient cycling in estuaries. En: *Neilson, B.J. y L.E. Cronin (Eds.), Estuaries and nutrients. Humana Press Inc., New Jersey: 25-46.*
- Zohary, T. y R.D. Robarts, 1998. Experimental study of microbial P limitation in the eastern Mediterranean. *Limnology and Oceanography*, 43(3):387-395.
- Zonneveld, C., 1998. A cell-based model for the chlorophyll a to carbon ratio in phytoplankton. *Ecological Modelling*, 113:55-70.

ANEXO

Tabla A.1. Datos procedentes del CTD. Muestreo 1.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
1M1	-0.10	15.94	3.78	29.68	1M1	-2.50	14.72	4.48	37.03
1M1	-0.20	15.88	3.91	30.81	1M1	-2.60	14.72	4.47	36.93
1M1	-0.40	15.60	4.11	32.86	1M1	-2.80	14.68	4.48	37.04
1M1	-0.50	15.36	4.04	32.43	1M1	-2.90	14.63	4.49	37.15
1M1	-0.60	15.28	4.21	33.98	1M1	-3.10	14.59	4.49	37.19
1M1	-0.70	15.22	4.34	35.26	1M1	-3.30	14.56	4.49	37.24
1M1	-0.90	15.17	4.35	35.42	1M1	-3.40	14.55	4.50	37.30
1M1	-1.00	15.16	4.35	35.38	1M1	-3.50	14.53	4.50	37.37
1M1	-1.20	15.12	4.33	35.28	1M1	-3.60	14.50	4.50	37.40
1M1	-1.50	15.05	4.38	35.78	1M1	-3.70	14.47	4.50	37.45
1M1	-1.70	14.97	4.29	35.00	1M1	-3.90	14.46	4.51	37.51
1M1	-1.80	14.98	4.37	35.78	1M1	-4.10	14.45	4.51	37.50
1M1	-1.90	14.93	4.43	36.35	1M1	-4.30	14.45	4.49	37.34
1M1	-2.10	14.82	4.45	36.66	1M1	-4.40	14.45	4.51	37.49
1M1	-2.30	14.76	4.39	36.09	1M1	-4.60	14.44	4.51	37.57
1M1	-2.40	14.73	4.40	36.20	1M1	-4.70	14.44	4.52	37.61
1M2	-0.05	15.51	3.97	31.67	1M2	-3.10	14.68	4.49	37.14
1M2	-0.30	15.33	3.99	31.96	1M2	-3.30	14.65	4.49	37.13
1M2	-0.50	15.23	4.37	35.52	1M2	-3.40	14.62	4.51	37.32
1M2	-0.60	15.13	4.39	35.79	1M2	-3.50	14.56	4.52	37.48
1M2	-0.80	15.06	4.43	36.18	1M2	-3.70	14.51	4.52	37.53
1M2	-1.10	15.00	4.42	36.13	1M2	-4.10	14.49	4.50	37.44
1M2	-1.40	14.93	4.44	36.43	1M2	-4.30	14.50	4.50	37.43
1M2	-1.60	14.84	4.46	36.71	1M2	-4.40	14.50	4.51	37.46
1M2	-1.80	14.81	4.46	36.77	1M2	-4.50	14.49	4.51	37.51
1M2	-2.10	14.78	4.48	36.91	1M2	-4.60	14.49	4.52	37.56
1M2	-2.40	14.78	4.49	37.07	1M2	-4.70	14.47	4.52	37.64
1M2	-2.70	14.77	4.50	37.14	1M2	-4.77	14.51	4.52	37.55
1M2	-2.90	14.73	4.50	37.16					
1M3	-0.10	15.62	4.16	33.47	1M3	-2.60	14.45	4.51	37.56
1M3	-0.20	15.74	4.22	33.74	1M3	-2.70	14.41	4.51	37.52
1M3	-0.30	15.82	4.36	34.88	1M3	-2.90	14.40	4.51	37.63
1M3	-0.40	15.86	4.43	35.53	1M3	-3.10	14.36	4.52	37.68
1M3	-0.60	15.85	4.43	35.53	1M3	-3.30	14.35	4.52	37.69
1M3	-0.70	15.68	4.48	36.11	1M3	-3.40	14.34	4.52	37.72
1M3	-1.00	15.44	4.47	36.26	1M3	-3.50	14.34	4.53	37.79
1M3	-1.30	15.20	4.48	36.52	1M3	-3.70	14.35	4.53	37.83
1M3	-1.50	15.04	4.49	36.74	1M3	-3.80	14.36	4.53	37.79
1M3	-1.70	14.84	4.49	36.98	1M3	-3.90	14.35	4.52	37.73
1M3	-1.80	14.79	4.49	37.05	1M3	-4.10	14.35	4.52	37.72
1M3	-1.90	14.67	4.50	37.25	1M3	-4.50	14.35	4.53	37.77
1M4	-0.05	16.76	2.52	18.57	1M4	-1.40	15.47	4.39	35.47
1M4	-0.30	16.37	3.19	24.37	1M4	-1.50	15.40	4.47	36.27
1M4	-0.40	15.96	3.98	31.42	1M4	-1.70	15.28	4.48	36.42
1M4	-0.50	15.71	4.15	33.11	1M4	-1.80	15.27	4.47	36.42
1M4	-0.60	15.63	4.34	34.92	1M4	-1.90	15.24	4.41	35.84
1M4	-0.70	15.55	4.38	35.35	1M4	-2.10	15.24	4.45	36.19
1M4	-1.00	15.48	4.05	32.39	1M4	-2.20	15.13	4.51	36.86
1M4	-1.20	15.48	4.05	32.38	1M4	-2.40	14.99	4.47	36.64

Tabla A.1. Continuación.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
1M4	-2.50	14.97	4.49	36.89	1M4	-3.10	14.72	4.51	37.30
1M4	-2.60	14.94	4.51	37.07	1M4	-3.30	14.61	4.51	37.39
1M4	-2.70	14.90	4.52	37.14	1M4	-3.40	14.60	4.52	37.44
1M4	-2.80	14.84	4.51	37.17	1M4	-3.50	14.60	4.52	37.50
1M4	-2.90	14.79	4.52	37.32					
1M5	-0.10	16.63	3.41	26.00	1M5	-2.50	14.85	4.46	36.71
1M5	-0.20	16.24	3.43	26.42	1M5	-2.60	14.83	4.48	36.91
1M5	-0.30	15.93	3.67	28.69	1M5	-2.80	14.78	4.48	36.98
1M5	-0.50	15.70	4.17	33.27	1M5	-2.90	14.76	4.50	37.11
1M5	-0.60	15.54	4.04	32.25	1M5	-3.00	14.75	4.50	37.14
1M5	-0.70	15.44	3.87	30.81	1M5	-3.10	14.72	4.50	37.21
1M5	-0.80	15.45	4.20	33.82	1M5	-3.30	14.72	4.51	37.23
1M5	-0.90	15.32	4.49	36.48	1M5	-3.40	14.70	4.51	37.27
1M5	-1.00	15.30	4.39	35.59	1M5	-3.50	14.69	4.51	37.31
1M5	-1.20	15.26	4.42	35.97	1M5	-3.70	14.66	4.51	37.35
1M5	-1.40	15.24	4.44	36.18	1M5	-3.80	14.63	4.52	37.42
1M5	-1.60	15.23	4.45	36.27	1M5	-3.90	14.62	4.52	37.46
1M5	-1.70	15.20	4.39	35.71	1M5	-4.10	14.62	4.52	37.50
1M5	-1.80	15.19	4.38	35.66	1M5	-4.20	14.61	4.53	37.52
1M5	-1.90	15.17	4.44	36.21	1M5	-4.30	14.59	4.53	37.54
1M5	-2.00	15.07	4.47	36.56	1M5	-4.50	14.57	4.53	37.60
1M5	-2.20	14.95	4.48	36.79	1M5	-4.59	14.56	4.51	37.46
1M5	-2.30	14.86	4.43	36.40					
1M6	-0.20	16.76	4.05	30.11	1M6	-2.40	14.73	4.52	37.32
1M6	-0.30	16.38	4.16	32.64	1M6	-2.50	14.76	4.52	37.34
1M6	-0.40	16.17	4.24	33.48	1M6	-2.60	14.74	4.52	37.33
1M6	-0.50	16.01	4.33	34.43	1M6	-2.80	14.71	4.53	37.43
1M6	-0.60	15.90	4.38	35.02	1M6	-2.90	14.69	4.53	37.48
1M6	-0.70	15.77	4.42	35.49	1M6	-3.00	14.66	4.52	37.38
1M6	-0.90	15.58	4.43	35.74	1M6	-3.20	14.64	4.52	37.46
1M6	-1.00	15.46	4.45	35.99	1M6	-3.30	14.64	4.52	37.47
1M6	-1.40	15.30	4.23	34.18	1M6	-3.40	14.66	4.52	37.46
1M6	-1.50	15.27	4.48	36.51	1M6	-3.50	14.67	4.54	37.55
1M6	-1.60	15.13	4.48	36.56	1M6	-3.60	14.62	4.54	37.65
1M6	-1.70	15.07	4.47	36.60	1M6	-3.70	14.63	4.54	37.64
1M6	-1.80	14.99	4.48	36.73	1M6	-3.90	14.55	4.53	37.62
1M6	-1.90	14.93	4.50	36.93	1M6	-4.10	14.52	4.52	37.57
1M6	-2.00	14.87	4.49	36.97	1M6	-4.20	14.48	4.53	37.66
1M6	-2.20	14.83	4.49	36.96	1M6	-4.40	14.45	4.54	37.77
1M6	-2.30	14.80	4.53	37.36	1M6	-4.50	14.47	4.51	37.47
1M7	-0.05	16.02	3.92	30.86	1M7	-1.90	14.76	4.50	37.10
1M7	-0.30	15.72	4.28	34.28	1M7	-2.10	14.65	4.50	37.27
1M7	-0.40	15.65	4.00	31.84	1M7	-2.40	14.60	4.51	37.36
1M7	-0.50	15.65	4.17	33.33	1M7	-2.50	14.61	4.51	37.37
1M7	-0.60	15.62	4.43	35.66	1M7	-2.70	14.60	4.51	37.40
1M7	-0.70	15.44	4.49	36.39	1M7	-2.90	14.61	4.52	37.44
1M7	-0.90	15.26	4.49	36.61	1M7	-3.10	14.62	4.52	37.49
1M7	-1.30	15.12	4.40	35.92	1M7	-3.20	14.62	4.52	37.49
1M7	-1.40	15.04	4.42	36.17	1M7	-3.30	14.62	4.52	37.50
1M7	-1.70	14.98	4.48	36.71	1M7	-3.50	14.60	4.52	37.48

Tabla A.1. Continuación.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
1M7	-3.60	14.57	4.53	37.57	1M7	-4.40	14.48	4.53	37.73
1M7	-3.90	14.57	4.53	37.62	1M7	-4.50	14.47	4.53	37.65
1M7	-4.00	14.53	4.53	37.66	1M7	-4.70	14.43	4.54	37.79
1M7	-4.20	14.51	4.52	37.59					
1M8	-0.10	17.72	0.69	4.57	1M8	-1.30	15.87	4.25	33.82
1M8	-0.20	17.56	0.96	6.39	1M8	-1.40	15.82	3.77	29.67
1M8	-0.30	17.39	1.05	7.06	1M8	-1.50	15.78	3.99	31.63
1M8	-0.40	17.23	1.36	9.38	1M8	-1.60	15.71	4.09	32.60
1M8	-0.50	17.01	1.90	13.53	1M8	-1.70	15.68	4.23	33.83
1M8	-0.60	16.73	2.55	18.81	1M8	-1.80	15.66	4.33	34.74
1M8	-0.70	16.40	3.24	24.67	1M8	-1.90	15.65	4.42	35.55
1M8	-0.80	16.33	3.33	25.55	1M8	-2.00	15.64	4.45	35.89
1M8	-0.90	16.20	3.31	25.41	1M8	-2.10	15.64	4.48	36.09
1M8	-1.00	16.10	3.40	26.25	1M8	-2.20	15.64	4.49	36.23
1M8	-1.10	16.07	3.83	30.02	1M8	-2.30	15.63	4.39	35.30
1M8	-1.20	15.96	3.61	28.16	1M8	-2.40	15.64	4.46	36.04

Tabla A.2. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 1.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl a (μg/L)	NID/PSR	NID/Si
1M1	0.00	6.687	0.7	1.06	116.0	117.8	0.68	1.06	1.27	10.0	9.94	173.2	11.8
	-0.05	6.787	0.2	1.04	116.3	117.5	0.82	0.84	1.25	19.3	15.38	143.3	6.1
	-0.10	6.902	0.1	1.01	98.7	99.8	0.83		1.46	19.7	15.39	120.2	5.1
	-0.20	9.632	<0.1	0.83	85.1	85.9	0.35	1.00	1.03	16.7	14.47	245.4	5.1
	-0.30	10.520	<0.1	0.77	81.8	82.6	0.32	0.51	1.12	10.7	13.30	258.1	7.7
	-0.50	16.961	<0.1	0.24	38.2	38.4	0.05	0.13	0.45	2.8	6.09	768.0	13.7
	-0.75	18.679	<0.1	0.08	16.3	16.4	0.03	<0.03	0.37	<0.1	4.62	546.7	>164.0
	-1.00	19.974	<0.1	<0.01	8.5	8.5	0.03	0.05	0.16	<0.1	2.09	283.3	>85.0
	-5.0	20.762	<0.1	<0.01	0.9	0.9	0.03	<0.03	0.28	<0.1	1.38	30.0	>9.0
1M2	0.00	4.985	<0.1	1.18	111.0	112.2	0.28	0.43	1.60	16.0	16.58	400.7	7.0
	-0.05	5.566	<0.1	1.12	103.9	105.0	0.40	0.79	1.24	19.8	15.35	262.5	5.3
	-0.10	5.595	<0.1	1.12	139.3	140.4	0.36	0.61	1.39	17.2	17.67	390.0	8.2
	-0.20	10.179	<0.1	0.82	82.5	83.3	0.11	0.41	1.27	14.8	18.43	757.3	5.6
	-0.30	11.782	<0.1	0.71	73.8	74.5	0.09	0.38	1.04	8.8	14.46	827.8	8.5
	-0.50	15.589	<0.1	0.38	42.0	42.4	0.09	0.12	0.83	5.6	7.89	471.1	7.6
	-0.75	19.989	0.3	<0.01	6.5	6.8	0.06	0.08	0.24	<0.1	2.17	113.3	>68.0
	-1.00	20.189	<0.1	<0.01	5.5	5.5	0.10	0.11	0.10	<0.1	1.82	55.0	>55.0
	-5.0	20.819	0.2	<0.01	0.7	0.9	<0.03	0.08	0.09	<0.1	0.21	>30.0	>9.0
1M3	0.00	14.860	0.3	0.44	47.3	48.0	0.09	0.25	0.65	5.8	8.64	533.3	8.3
	-0.05	14.969	<0.1	0.41	46.9	47.3	0.15	0.20	0.62	7.2	8.99	315.3	6.6
	-0.10	15.035	<0.1	0.39	48.2	48.6	0.14	0.23	0.79	3.5	8.90	347.1	13.9
	-0.20	16.765	<0.1	0.27	31.8	32.1	0.05	0.12	0.56	3.5	6.49	642.0	9.2
	-0.30	17.875	<0.1	0.14	24.5	24.6	0.07	0.13	0.35	1.1	3.51	351.4	22.4
	-0.50	18.595	<0.1	0.08	19.1	19.2	0.03	<0.03	0.45	0.9	2.15	640.0	21.3
	-0.75	19.176	<0.1	0.03	18.8	18.8	0.04	0.08	0.25	<0.1	2.00	470.0	>188.0
	-1.00	19.845	<0.1	<0.01	9.9	9.9	<0.03	0.07	0.22	<0.1	1.90	>330.0	>99.0
	-5.0	20.821	0.6	<0.01	0.7	1.3	<0.03	0.03	0.11	<0.1	0.66	>43.3	>13.0

Tabla A.2. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
1M4	0.00	4.496	0.6	1.38	143.0	145.0	0.91	1.09	1.86	24.5	20.48	159.3	5.9
	-0.05	4.667	0.4	1.40	137.0	138.8	0.79		1.95	21.0	21.30	175.7	6.6
	-0.10	4.791	0.8	1.30	139.9	142.0	1.09	1.25	1.74	27.0	19.65	130.3	5.3
	-0.20	5.094	0.2	1.10	113.9	115.2	0.94	1.18	1.57	19.7	22.22	122.6	5.8
	-0.30	5.874	0.4	1.03	102.7	104.1	0.85	1.29	1.26	20.7	18.63	122.5	5.0
	-0.50	7.751	0.4	0.90	96.6	97.9	0.90	1.17		19.8	16.36	108.8	4.9
	-0.75	12.329	0.4	0.50	80.0	80.9	0.55	0.70	1.27	7.9	10.71	147.1	10.2
	-1.00	18.420	0.4	0.05	21.4	21.8	0.06	<0.03	0.31	<0.1	4.40	363.3	>218.0
	-5.0	20.738	<0.1	<0.01	1.8	1.8	0.04	<0.03	0.11	<0.1	1.46	45.0	>18.0
1M5	0.00	12.282	<0.1	0.57	65.3	65.9	0.45	0.49	0.96	13.3	9.17	146.4	5.0
	-0.05	13.002	0.4	0.50	66.2	67.1	0.41	0.81	1.09	8.0	9.25	163.7	8.4
	-0.10	13.004	0.6	0.47	83.1	84.2	0.55	0.63	1.27	11.4	9.18	153.1	7.4
	-0.20	13.958	0.4	0.39	58.4	59.2	0.39	0.57	0.82	9.7	8.44	151.8	6.1
	-0.30	14.626	0.6	0.36	63.9	64.9	0.21	0.25	0.68	6.7	8.31	309.0	9.7
	-0.50	16.675	0.6	0.20	33.7	34.5	0.08	0.09	0.46	2.9	6.12	431.3	11.9
	-0.75	18.269	0.6	0.09	21.2	21.9	0.04	0.03	0.21	<0.1	7.97	547.5	>219.0
	-1.00	19.743	0.2	<0.01	7.3	7.5	0.04	0.05	0.09	<0.1	3.39	187.5	>75.0
	-5.0	20.747	0.2	<0.01	1.1	1.3	0.07	0.11	0.07	<0.1	1.80	18.6	>13.0
1M6	0.00	14.480	0.6	0.38	61.9	62.9	0.22	0.52	0.60	9.1	7.99	285.9	6.9
	-0.05	14.466	0.7	0.39	50.9	52.0	0.22	0.31	0.66	6.8	7.37	236.4	7.6
	-0.10	14.620	0.4	0.37	54.1	54.9	0.21	0.52	0.62	6.4	7.18	261.4	8.6
	-0.20	14.712	0.8	0.38	59.3	60.5	0.22	0.19	0.65	7.2	7.17	275.0	8.4
	-0.30	14.900	0.5	0.35	56.1	56.9	0.19	0.36	0.78	7.2	6.99	299.5	7.9
	-0.50	16.323	1.7	0.25	41.8	43.7	0.10	0.12	0.46	4.5	5.87	437.0	9.7
	-0.75	18.861	0.5	0.04	14.8	15.3	0.03	0.10	0.22	<0.1	4.19	510.0	>153.0
	-1.00	19.797	0.2	<0.01	5.2	5.4	0.04	0.07	0.22	<0.1	3.63	135.0	>54.0
	-5.0	20.786	0.2	<0.01	0.7	0.9	0.05	<0.03	0.10	<0.1	1.42	18.0	>9.0
1M7	0.00	10.319	<0.1	0.73	81.2	81.9	0.54		0.87	16.0	12.03	151.7	5.1
	-0.05	10.365	0.1	0.72	74.7	75.5	0.55	0.59	1.03	15.7	11.90	137.3	4.8
	-0.10	10.393	<0.1	0.72	83.0	83.7	0.50	0.55	1.00	12.2	11.65	167.4	6.9
	-0.20	10.616	0.4	0.70	87.0	88.1	0.45	0.64	0.94	13.0	11.32	195.8	6.8
	-0.30	10.935	0.4	0.70	76.9	78.0	0.37	0.46	0.93	10.8	12.34	210.8	7.2
	-0.50	12.879	0.6	0.49	60.6	61.7	0.31	0.55	0.81	10.1	3.03	199.0	6.1
	-0.75	16.571	0.9	0.26	44.9	46.1	0.07	0.13	0.60	4.1	7.51	658.6	11.2
	-1.00	20.020	0.3	<0.01	5.3	5.6	0.04	0.13	0.20	<0.1	11.94	140.0	>56.0
	-5.0	20.747	1.1	<0.01	3.4	4.5	0.03	<0.03	0.06	<0.1	0.73	150.0	>45.0
1M8	0.00	1.765	0.6	1.53	159.8	161.9	0.94	1.14	2.18	30.0	21.02	172.2	5.4
	-0.05	1.717	0.3	1.49	100.6	102.4	0.55	0.97	2.29	29.5	21.83	186.2	3.5
	-0.10	1.804	0.5	1.44	160.0	161.9	0.68	0.94	1.41	31.0	21.73	238.1	5.2
	-0.20	1.285	0.2	1.48	109.5	111.2	0.62	1.25	2.09	20.5	21.79	179.4	5.4
	-0.30	2.158	1.3	1.45	163.0	165.7	0.78	1.25	2.35	29.5	20.99	212.4	5.6
	-0.50	4.272	1.2	1.28	142.1	144.6	1.05	1.13	1.29	25.0	20.12	137.7	5.8
	-0.75	9.318	1.0	0.79	96.9	98.7	0.61		0.95	12.7	13.92	161.8	7.8
	-1.00	15.043	1.4	0.35	51.3	53.0	0.31	0.42	1.06	8.4	8.94	171.0	6.3

Tabla A.3. Conductividad (mS/cm) del transecto previo. Muestreo 2.

Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)	Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)
	UTM x	UTM y			UTM x	UTM y	
2T1	319770.0	4512567.0	21.7	2T48	322510.8	4518049.0	51.7
2T2	319728.1	4512755.0	30.2	2T49	322510.8	4517935.0	51.4
2T3	318743.4	4513027.0	30.6	2T50	322527.7	4517816.0	51.5
2T4	318768.0	4513341.0	37.8	2T51	322557.6	4517654.0	52.0
2T5	318777.3	4513547.0	33.4	2T52	322593.3	4517440.0	52.2
2T6	318825.2	4513781.0	34.5	2T53	322605.3	4517240.0	52.6
2T7	319697.0	4513907.0	41.3	2T54	322660.1	4517118.0	53.0
2T8	319751.7	4514071.0	43.1	2T55	322511.6	4517089.0	52.7
2T9	319754.2	4514406.0	46.9	2T56	322423.0	4517089.0	52.1
2T10	319754.4	4514585.0	45.4	2T57	322300.4	4517081.0	51.8
2T11	319761.8	4514774.0	45.5	2T58	322211.5	4517072.0	51.6
2T12	319805.1	4515053.0	45.4	2T59	321923.0	4517069.0	51.6
2T13	319841.6	4515394.0	46.5	2T60	321601.8	4517114.0	51.6
2T14	319841.8	4515633.0	45.7	2T61	321430.5	4517072.0	51.6
2T15	319889.4	4516143.0	46.2	2T62	321387.9	4516882.0	51.5
2T16	319924.2	4516357.0	46.3	2T63	321361.6	4516724.0	50.7
2T17	319963.5	4516584.0	46.5	2T64	321342.0	4516615.0	50.9
2T18	319987.3	4516755.0	46.9	2T65	321322.3	4516497.0	51.1
2T19	319988.4	4516974.0	47.2	2T66	321326.3	4516312.0	51.1
2T20	320068.9	4517157.0	47.4	2T67	321313.3	4515892.0	51.1
2T21	320089.4	4517306.0	47.1	2T68	321302.0	4515833.0	51.4
2T22	320119.5	4517504.0	47.6	2T69	321284.5	4515574.0	51.4
2T23	320150.6	4517738.0	48.3	2T70	321274.3	4515382.0	51.8
2T24	320177.3	4517969.0	47.5	2T71	321245.3	4515175.0	52.2
2T25	320199.3	4518181.0	47.8	2T72	321232.5	4515111.0	52.4
2T26	320222.1	4518364.0	48.1	2T73	321217.1	4515055.0	52.3
2T27	320251.0	4518571.0	47.6	2T74	321187.3	4514928.0	53.0
2T28	320286.5	4518814.0	48.1	2T75	321148.6	4514668.0	53.3
2T29	320404.7	4518933.0	48.9	2T76	321155.7	4514320.0	54.0
2T30	320734.6	4519712.0	50.6	2T77	320628.9	4514366.0	48.0
2T31	320858.5	4519604.0	51.1	2T78	320519.6	4514385.0	44.5
2T32	320929.0	4519552.0	51.2	2T79	318620.9	4514693.0	55.2
2T33	320183.3	4519491.0	51.2	2T80	318368.3	4514780.0	55.9
2T34	321139.4	4519410.0	51.3	2T81	318274.2	4514333.0	56.8
2T35	321195.2	4519331.0	51.6	2T82	318371.1	4514151.0	56.7
2T36	321359.4	4519197.0	52.1	2T83	318441.9	4514051.0	56.6
2T37	321475.7	4519119.0	52.2	2T84	317207.0	4514102.0	55.8
2T38	321607.0	4519021.0	52.5	2T85	318788.6	4514067.0	54.0
2T39	321689.8	4518956.0	52.5	2T86	318924.7	4514048.0	53.4
2T40	321788.9	4518863.0	52.4	2T87	319029.7	4514022.0	52.6
2T41	321978.7	4518684.0	51.7	2T88	319122.1	4514001.0	51.6
2T42	322022.2	4518622.0	51.8	2T89	319259.8	4513990.0	51.1
2T43	322146.9	4518540.0	51.4	2T90	319391.2	4513954.0	49.9
2T44	322273.7	4518429.0	51.5	2T91	319470.7	4513863.0	48.5
2T45	322339.7	4518366.0	51.9	2T92	319535.5	4513808.0	45.8
2T46	322445.0	4518240.0	51.9	2T93	319638.6	4513820.0	44.1
2T47	322473.6	4518143.0	51.7	2T94	319778.4	4513839.0	41.8

Tabla A.4. Datos procedentes del CTD. Muestreo 2.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
2M1	-0.05	24.14	4.27	28.00	2M1	-0.71	23.23	5.39	37.07
2M1	-0.30	23.63	5.10	34.49	2M1	-1.11	23.22	5.39	37.11
2M1	-0.40	23.48	5.30	36.17	2M1	-1.41	23.23	5.42	37.31
2M1	-0.61	23.31	5.37	36.82	2M1	-1.41	23.22	5.44	37.49
2M2	-0.71	23.84	5.43	36.72	2M2	-2.82	23.11	5.40	37.22
2M2	-0.81	23.76	5.43	36.97	2M2	-3.12	22.78	5.38	37.34
2M2	-1.41	23.58	5.45	37.22	2M2	-3.53	22.24	5.33	37.47
2M2	-1.81	23.52	5.44	37.23	2M2	-4.03	21.92	5.33	37.74
2M2	-2.12	23.44	5.44	37.25	2M2	-4.64	21.71	5.34	37.97
2M2	-2.42	23.37	5.43	37.26					
2M3	-0.71	25.11	5.34	34.16	2M3	-2.62	24.44	5.53	37.09
2M3	-0.81	24.98	5.44	36.02	2M3	-3.23	24.36	5.53	37.19
2M3	-1.51	24.58	5.52	36.89	2M3	-3.83	24.34	5.52	37.17
2M3	-1.92	24.52	5.52	36.98	2M3	-4.74	24.28	5.52	37.22
2M4	-0.20	24.51	5.47	36.50	2M4	-2.22	22.72	5.39	37.48
2M4	-0.30	24.26	5.46	36.74	2M4	-2.92	22.43	5.38	37.66
2M4	-0.61	23.74	5.45	37.07	2M4	-3.53	22.25	5.37	37.76
2M4	-1.11	23.33	5.43	37.33	2M4	-4.44	22.12	5.36	37.78
2M4	-1.61	23.04	5.43	37.51					
2M5	-0.10	24.95	5.46	36.16	2M5	-2.32	24.52	5.52	37.00
2M5	-0.20	24.94	5.46	36.16	2M5	-2.52	24.48	5.53	37.06
2M5	-0.40	24.92	5.46	36.18	2M5	-2.72	24.46	5.53	37.08
2M5	-0.50	24.88	5.46	36.27	2M5	-2.82	24.45	5.53	37.13
2M5	-0.61	24.85	5.47	36.32	2M5	-2.92	24.41	5.53	37.17
2M5	-0.71	24.83	5.47	36.34	2M5	-3.12	24.38	5.53	37.15
2M5	-0.81	24.82	5.47	36.36	2M5	-3.23	24.27	5.53	37.23
2M5	-1.01	24.76	5.47	36.44	2M5	-3.43	24.07	5.53	37.42
2M5	-1.31	24.70	5.47	36.49	2M5	-3.53	23.88	5.53	37.59
2M5	-1.51	24.65	5.48	36.59	2M5	-3.63	23.68	5.52	37.70
2M5	-1.61	24.64	5.50	36.72	2M5	-3.83	23.55	5.48	37.49
2M5	-1.71	24.62	5.50	36.77	2M5	-4.03	23.25	5.44	37.44
2M5	-1.92	24.61	5.49	36.71	2M5	-4.44	22.97	5.42	37.53
2M5	-2.12	24.61	5.51	36.81	2M5	-4.64	22.82	5.49	38.16
2M5	-2.22	24.57	5.52	36.92	2M5	-4.84	22.84	5.46	37.91
2M6	-0.08	24.93	5.04	33.08	2M6	-2.52	23.25	5.45	37.54
2M6	-0.30	24.87	5.21	34.37	2M6	-2.72	23.01	5.46	37.80
2M6	-0.40	24.84	5.23	34.54	2M6	-2.82	22.87	5.45	37.82
2M6	-0.50	24.84	5.33	35.32	2M6	-3.02	22.79	5.43	37.71
2M6	-0.61	24.82	5.35	35.47	2M6	-3.12	22.69	5.43	37.83
2M6	-0.81	24.80	5.47	36.42	2M6	-3.23	22.68	5.45	37.98
2M6	-1.01	24.76	5.47	36.38	2M6	-3.33	22.62	5.45	38.07
2M6	-1.21	24.73	5.45	36.27	2M6	-3.43	22.57	5.42	37.90
2M6	-1.31	24.74	5.50	36.66	2M6	-3.53	22.46	5.41	37.86
2M6	-1.41	24.73	5.52	36.79	2M6	-3.73	22.33	5.46	38.42
2M6	-1.51	24.61	5.52	36.93	2M6	-3.83	22.33	5.45	38.29
2M6	-1.71	24.55	5.53	37.00	2M6	-4.03	22.31	5.42	38.11
2M6	-1.92	24.46	5.53	37.09	2M6	-4.23	22.26	5.38	37.85
2M6	-2.02	24.40	5.53	37.14	2M6	-4.33	22.12	5.38	37.92
2M6	-2.12	24.37	5.52	37.09	2M6	-4.64	22.01	5.39	38.10
2M6	-2.32	23.75	5.46	37.17	2M6	-4.84	21.98	5.43	38.42

Tabla A.4. Continuación.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
2M6	-4.94	21.94	5.43	38.51					
2M7	-0.20	24.22	5.42	36.50	2M7	-2.62	22.33	5.41	37.98
2M7	-0.30	24.22	5.42	36.46	2M7	-2.72	22.15	5.43	38.30
2M7	-0.40	24.23	5.45	36.69	2M7	-2.92	21.88	5.35	37.94
2M7	-0.50	24.22	5.48	36.96	2M7	-3.12	21.74	5.37	38.20
2M7	-0.61	24.22	5.48	36.97	2M7	-3.23	21.69	5.39	38.37
2M7	-0.81	24.16	5.50	37.10	2M7	-3.33	21.65	5.37	38.31
2M7	-1.01	24.07	5.49	37.14	2M7	-3.43	21.59	5.34	38.08
2M7	-1.21	24.04	5.50	37.24	2M7	-3.53	21.55	5.34	38.09
2M7	-1.31	24.06	5.51	37.26	2M7	-3.63	21.51	5.40	38.62
2M7	-1.41	23.99	5.50	37.25	2M7	-3.83	21.51	5.38	38.51
2M7	-1.61	23.86	5.51	37.46	2M7	-3.93	21.48	5.34	38.20
2M7	-1.71	23.86	5.50	37.37	2M7	-4.03	21.45	5.34	38.24
2M7	-1.81	23.75	5.49	37.39	2M7	-4.23	21.44	5.34	38.19
2M7	-2.12	23.43	5.51	37.78	2M7	-4.33	21.44	5.33	38.16
2M7	-2.22	23.43	5.48	37.60	2M7	-4.44	21.41	5.31	37.99
2M7	-2.32	23.02	5.45	37.74	2M7	-4.64	21.37	5.31	38.02
2M7	-2.42	22.65	5.43	37.88	2M7	-4.84	21.36	5.35	38.36

Tabla A.5. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 2.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl a (μg/L)	NID/PSR	NID/Si
2M1	0.00	4.075	2.6	0.62	130.3	133.5	1.23	1.41	2.09	51.0	12.26	108.5	2.6
	-0.05	4.113	2.1	0.65	119.3	122.1	1.40	1.48	2.04	47.0	11.92	87.1	2.6
	-0.10	4.137	2.1	0.64	121.3	124.0	1.04	1.38	2.13	46.0	12.25	119.2	2.7
	-0.20	4.626	2.4	0.63	111.7	114.7	0.70	1.83	1.96	46.0	12.01	163.9	2.5
	-0.30	5.343	1.3	0.48	102.6	104.4	1.23	1.46	1.97	46.0	9.88	84.9	2.3
	-0.50	9.449	0.8	0.35	80.1	81.3	1.05	1.28	2.13	37.5	7.41	77.3	2.2
	-0.75	14.142	3.0	0.21	39.3	42.5	0.88	0.94	1.55	26.0	7.05	48.4	1.6
	-1.00	20.068	0.7	<0.01	3.0	3.7	0.32	0.30	0.65	4.2	8.91	11.6	0.9
2M2	0.00	13.446	2.0	0.20	51.8	54.0	0.52	0.60	1.15	26.0	3.75	103.8	2.1
	-0.05	13.377	2.1	0.19	48.4	50.7	0.50	0.51	0.86	21.5	3.70	101.4	2.4
	-0.10	13.343	1.7	0.15	42.0	43.9	0.49	0.58	1.07	27.0	3.81	89.4	1.6
	-0.20	13.526	2.0	0.15	44.5	46.7	0.44	0.82	1.20	23.5	3.63	105.9	2.0
	-0.30	13.619	2.1	0.16	44.0	46.3	0.52	0.57	1.11	26.0	3.65	88.8	1.8
	-0.50	14.387	1.8	0.11	36.3	38.2	0.36	0.47	0.88	23.0	3.54	106.1	1.7
	-0.75	15.362	1.4	0.07	33.5	35.0	0.37	0.44	0.74	19.0	2.93	94.6	1.8
	-1.00	20.138	1.0	<0.01	1.5	2.5	<0.03	0.08	0.13	2.0	2.03	>83.3	1.3
	-5.0	20.841	1.0	<0.01	<0.1	1.0	<0.03		0.05	0.6	<0.20	>33.3	1.7
2M3	0.00	17.198	0.8	0.14	25.4	26.3	0.05	0.09	0.41	10.8	2.01	528.0	2.4
	-0.05	17.183	1.5	0.16	23.4	25.1	<0.03	0.13	0.47	11.1	1.89	>836.7	2.3
	-0.10	17.206	1.2	0.15	15.8	17.2	0.07	0.21	0.33	10.8	1.94	244.3	1.6
	-0.20	17.200	0.9	0.13	17.1	18.1	0.04	0.27	0.33	10.4	1.87	455.0	1.8
	-0.30	17.243	1.3	0.12	15.7	17.1	0.04	0.20	0.55	10.6	2.07	427.5	1.6
	-0.50	17.294	1.3	0.01	18.4	19.7	0.04	0.14	0.26	10.8	2.09	492.5	1.8
	-0.75	17.420	1.2	<0.01	16.0	17.2	0.07	0.20	0.32	10.6	2.20	245.7	1.6
	-1.00	17.772	1.1	<0.01	14.6	15.7	0.03	0.08	0.43	8.3	1.98	523.3	1.9
	-5.0	20.608	0.7	<0.01	0.3	1.0	<0.03	<0.03	<0.03	0.6	<0.20	>30.0	1.5

Tabla A.5. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
2M4	0.00	16.897	1.6	0.02	23.6	25.2	0.08	0.16	0.59	12.6	2.22	315.0	2.0
	-0.05	16.899	0.9	0.01	23.9	24.8	0.15	0.23	0.57	11.5	2.02	166.0	2.2
	-0.10	16.936	1.2	0.01	18.9	20.1	0.06	0.14	0.42	11.6	2.41	335.0	1.7
	-0.20	16.474	1.4	0.03	18.8	20.2	0.10	0.27	0.41	10.0	2.14	202.0	2.0
	-0.30	16.825	1.1	0.03	16.5	17.6	0.04	0.18	0.44	12.2	2.54	440.0	1.4
	-0.50	17.072	0.8	0.01	15.8	16.6	0.04	0.21	0.54	10.2	2.58	417.5	1.6
	-0.75	17.330	1.2	0.02	14.8	16.0	<0.03	0.18	0.46	10.5	2.12	>533.3	1.5
	-1.00	17.603	0.9	<0.01	11.5	12.4	0.06	0.25	0.42	9.0	1.62	206.7	1.4
	-5.0	20.863	0.4	<0.01	0.3	0.7	<0.03	<0.03	0.05	0.4	<0.20	>23.3	1.8
2M5	0.00	19.699	1.1	<0.01	4.0	5.1	3.20	3.74	3.82	2.8	0.63		1.8
	-0.05	20.044	0.6	<0.01	3.9	4.5	0.09	0.40		2.4	0.60	48.9	1.8
	-0.10	20.015	0.2	<0.01	2.2	2.4	0.07	0.12	0.41	2.2	0.49	34.3	1.1
	-0.20	20.044	0.5	<0.01	2.4	2.9	<0.03	0.04	0.31	2.5	0.65	>96.7	1.2
	-0.30	20.068	0.6	<0.01	2.2	2.8	<0.03	<0.03	0.16	2.2	0.46	>90.0	1.2
	-0.50	19.941	0.8	<0.01	2.4	3.2	0.42	0.82	0.90	2.9	0.82	7.6	1.1
	-0.75	19.924	0.6	<0.01	2.2	2.8	1.24	1.37	1.70	2.5	0.57	2.2	1.1
	-1.00	20.027	0.6	<0.01	3.5	4.1	0.15	0.20	0.68	2.3	0.53	27.3	1.8
	-5.0	20.731	0.1	<0.01	0.6	0.7	0.04	0.07	0.32	0.7	0.29	17.5	1.0
2M6	0.00	15.142	1.3	0.08	37.6	39.0	0.18	0.28	0.91	17.0	5.68	216.7	2.3
	-0.05	15.137	1.7	0.08	36.0	37.8	0.23	0.44	0.60	16.0	4.57	164.3	2.4
	-0.10	15.129	1.5	0.08	26.8	28.4	0.15	0.37	0.83	15.3	5.34	188.7	1.8
	-0.20	15.207	2.4	0.08	28.0	30.5	0.19	0.32	0.82	15.3	4.83	160.5	2.0
	-0.30	15.345	1.5	0.06	26.8	28.4	0.18	0.28	0.56	15.0	4.79	157.8	1.9
	-0.50	15.788	1.3	0.05	24.9	26.3	0.17	0.39	0.98	14.0	4.00	154.1	1.9
	-0.75	16.283	1.2	0.02	23.4	24.6	0.17	0.37	0.73	11.2	4.13	145.3	2.2
	-1.00	17.772	2.1	<0.01	12.8	14.9	<0.03	0.10	0.48	9.6	2.66	>496.7	1.6
	-5.0	20.837	1.4	<0.01	0.2	1.6	<0.03	<0.03	0.13	0.7	<0.20	>56.7	2.4
2M7	0.00	10.035	0.6	0.33	74.2	75.1	0.38	0.57	1.38	31.0	19.20	197.6	2.4
	-0.05	10.057	0.3	0.33	68.6	69.2	0.32	0.74	1.23	31.0	18.63	216.3	2.2
	-0.10	10.207	0.3	0.35	74.2	74.9	0.36	0.56	1.28	29.5	17.85	207.8	2.5
	-0.20	10.448	0.9	0.33	73.9	75.1	0.53	0.69	0.89	28.0	11.47	141.7	2.7
	-0.30	11.058	0.8	0.30	70.1	71.2	0.49	0.66	1.26	27.5	10.01	145.3	2.6
	-0.50	11.963	2.0	0.22	56.0	58.2	0.58	0.63	1.30	25.0	7.96	100.3	2.3
	-0.75	17.136	1.1	<0.01	29.3	30.4	0.15	0.20	0.39	7.6	2.70	202.0	4.0
	-1.00	20.518	1.2	<0.01	8.5	9.7	<0.03	0.12	0.34	1.1	0.70	>323.3	8.8
	-5.0	20.863	0.4	<0.01	0.4	0.8	<0.03	<0.03	0.03	0.4	<0.20	>26.7	2.0

Tabla A.6. Conductividad (mS/cm) del transecto previo. Muestreo 3.

Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)	Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)
	UTM x	UTM y			UTM x	UTM y	
3T1	319056.5	4513390.0	20.1	3T6	317806.5	4515292.0	35.7
3T2	318795.0	4513694.0	26.3	3T7	317685.7	4515532.0	38.5
3T3	318688.4	4513884.0	28.6	3T8	317646.7	4515665.0	38.3
3T4	318522.4	4514160.0	32.0	3T9	317510.7	4515799.0	40.9
3T5	317863.4	4514343.0	33.5	3T10	317454.4	4515801.0	41.7

Tabla A.6. Continuación.

Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)	Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)
	UTM x	UTM y			UTM x	UTM y	
3T11	317353.1	4515914.0	42.5	3T61	314539.0	4515338.0	53.8
3T12	316496.4	4515991.0	43.9	3T62	314665.6	4515335.0	52.6
3T13	316005.9	4516024.0	44.8	3T63	314727.0	4515369.0	50.6
3T14	315923.7	4516111.0	45.2	3T64	314795.0	4515443.0	48.1
3T15	315867.9	4516188.0	46.3	3T65	314799.9	4515472.0	46.7
3T16	315132.9	4517134.0	45.7	3T66	314843.2	4515512.0	45.0
3T17	315036.8	4517122.0	47.1	3T67	314908.8	4515546.0	43.0
3T18	314853.5	4517161.0	48.0	3T68	314951.0	4515545.0	42.1
3T19	314758.3	4517184.0	49.0	3T69	314996.5	4515508.0	40.6
3T20	314910.0	4517284.0	49.6	3T70	315017.2	4515715.0	39.5
3T21	314685.9	4517216.0	50.5	3T71	315057.4	4515805.0	40.4
3T22	314544.5	4517245.0	51.1	3T72	315140.4	4515747.0	41.4
3T23	314437.1	4517283.0	52.2	3T73	315845.1	4515613.0	41.6
3T24	313735.2	4517351.0	53.3	3T74	315869.5	4515633.0	40.3
3T25	313406.2	4517253.0	53.7	3T75	315911.7	4515632.0	40.3
3T26	313501.7	4517245.0	52.6	3T76	315900.6	4515637.0	39.6
3T27	313617.7	4517268.0	51.0	3T77	316167.3	4515722.0	40.6
3T28	313718.9	4517321.0	49.6	3T78	316241.0	4515740.0	39.9
3T29	313043.8	4517338.0	48.5	3T79	316352.0	4515732.0	40.3
3T30	314631.1	4517328.0	48.1	3T80	316378.9	4515737.0	37.9
3T31	314672.5	4517297.0	47.2	3T81	316421.5	4515754.0	37.0
3T32	314760.6	4517275.0	46.6	3T82	316452.8	4515764.0	37.3
3T33	314882.5	4517251.0	46.7	3T83	319278.5	4517295.0	51.0
3T34	315117.0	4517120.0	44.6	3T84	319172.0	4517197.0	49.5
3T35	315116.8	4516324.0	43.7	3T85	319152.8	4517333.0	48.8
3T36	315898.8	4516187.0	43.0	3T86	319054.3	4517391.0	48.3
3T37	316092.5	4516107.0	40.5	3T87	318996.2	4517372.0	47.5
3T38	316179.3	4516034.0	38.4	3T88	317422.0	4518021.0	44.9
3T39	316243.7	4516018.0	36.6	3T89	317357.6	4518890.0	43.6
3T40	313517.9	4516045.0	35.2	3T90	314740.5	4518159.0	51.2
3T41	316455.5	4515875.0	37.6	3T91	314973.5	4515827.0	50.1
3T42	316540.0	4515879.0	37.6	3T92	315855.1	4515674.0	50.6
3T43	317156.2	4515864.0	38.5	3T93	315858.8	4515653.0	50.1
3T44	317340.0	4515839.0	36.8	3T94	315927.2	4515631.0	50.1
3T45	316097.9	4515703.0	39.9	3T95	316053.0	4515593.0	49.8
3T46	315140.5	4515580.0	41.6	3T96	316079.7	4515592.0	48.9
3T47	315066.5	4515547.0	43.3	3T97	316125.6	4515571.0	48.2
3T48	314966.4	4515544.0	45.2	3T98	316125.6	4515571.0	48.6
3T49	314966.4	4515544.0	47.1	3T99	316221.4	4515574.0	50.1
3T50	314781.3	4515514.0	48.3	3T100	316362.0	4515509.0	48.5
3T51	314700.7	4515499.0	49.9	3T101	316415.4	4515508.0	48.5
3T52	314610.7	4515447.0	51.2	3T102	316531.7	4515540.0	47.3
3T53	314584.7	4515422.0	51.9	3T103	317236.9	4515543.0	45.1
3T54	314571.7	4515408.0	52.0	3T104	317335.2	4515761.0	43.6
3T55	314544.6	4515394.0	52.6	3T105	317490.4	4515776.0	43.2
3T56	314513.5	4515389.0	53.0	3T106	317429.1	4515574.0	42.0
3T57	314460.0	4515390.0	53.6	3T107	317218.3	4515584.0	43.0
3T58	314460.2	4515396.0	54.1	3T108	317518.3	4515592.0	42.4
3T59	314358.8	4515337.0	54.0	3T109	317672.5	4515623.0	42.2
3T60	314401.0	4515336.0	53.9	3T110	317739.7	4515551.0	43.1

Tabla A.6. Continuación.

Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)	Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)
	UTM x	UTM y			UTM x	UTM y	
3T111	317771.6	4515591.0	42.7	3T134	316454.1	4514287.0	49.1
3T112	317825.8	4515619.0	42.5	3T135	316332.6	4514325.0	50.5
3T113	317896.2	4515679.0	43.6	3T136	316249.7	4514388.0	50.6
3T114	318600.9	4515656.0	46.5	3T137	316139.8	4515237.0	51.3
3T115	318946.1	4516018.0	48.4	3T138	316031.5	4515351.0	52.3
3T116	314799.5	4517309.0	43.3	3T139	315774.8	4515670.0	52.5
3T117	314930.8	4517326.0	45.0	3T140	315046.7	4515825.0	53.3
3T118	315789.6	4517340.0	42.8	3T141	314896.5	4515955.0	53.2
3T119	316042.4	4517319.0	41.7	3T142	314741.7	4516070.0	54.1
3T120	316296.4	4517348.0	40.4	3T143	314560.6	4516200.0	54.2
3T121	316561.7	4517376.0	38.6	3T144	314462.2	4516264.0	54.5
3T122	317352.0	4517579.0	38.7	3T145	313716.5	4517225.0	54.7
3T123	317404.5	4517370.0	37.8	3T146	313648.6	4517268.0	54.8
3T124	317520.0	4517373.0	37.1	3T147	313455.9	4517439.0	55.0
3T125	317604.3	4517371.0	37.2	3T148	313217.7	4517702.0	54.5
3T126	317689.1	4517384.0	38.5	3T149	318323.0	4517583.0	44.9
3T127	317730.1	4517333.0	38.3	3T150	318431.2	4517576.0	46.9
3T128	317577.6	4517371.0	37.8	3T151	318616.6	4517561.0	46.7
3T129	318551.1	4513624.0	40.2	3T152	318873.7	4517545.0	47.2
3T130	317148.6	4513846.0	42.7	3T153	319061.3	4519401.0	47.2
3T131	317148.4	4513840.0	44.5	3T154	319607.0	4517548.0	49.3
3T132	317448.8	4515744.0	46.6	3T155	319746.7	4517566.0	50.8
3T133	317240.4	4514142.0	45.8				

Tabla A.7. Datos procedentes del CTD. Muestreo 3.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
3M1	-0.20	24.51	5.10	33.03	3M1	-2.62	22.16	5.41	38.12
3M1	-0.30	24.56	5.19	34.47	3M1	-2.82	22.08	5.41	38.17
3M1	-0.40	24.60	5.39	35.93	3M1	-3.02	21.96	5.40	38.24
3M1	-0.61	24.17	5.38	36.23	3M1	-3.23	21.83	5.40	38.32
3M1	-0.71	23.73	5.43	36.92	3M1	-3.33	21.86	5.40	38.36
3M1	-0.91	23.74	5.43	36.92	3M1	-3.43	21.86	5.36	38.02
3M1	-1.31	23.36	5.44	37.32	3M1	-3.53	21.70	5.39	38.42
3M1	-1.51	23.22	5.45	37.56	3M1	-3.73	21.67	5.31	37.75
3M1	-1.61	23.16	5.45	37.57	3M1	-4.03	21.56	5.35	38.19
3M1	-1.92	23.01	5.46	37.78	3M1	-4.33	21.49	5.34	38.14
3M1	-2.12	22.93	5.42	37.57	3M1	-4.54	21.51	5.31	37.91
3M1	-2.32	22.46	5.35	37.43	3M1	-4.84	21.45	5.33	38.14
3M2	-0.10	24.77	5.44	36.24	3M2	-1.41	24.75	5.58	37.28
3M2	-0.20	24.81	5.44	36.15	3M2	-1.61	24.66	5.59	37.40
3M2	-0.40	24.84	5.51	36.64	3M2	-1.71	24.62	5.60	37.48
3M2	-0.50	24.85	5.54	36.86	3M2	-1.92	24.50	5.60	37.62
3M2	-0.61	24.85	5.56	36.98	3M2	-2.02	24.49	5.60	37.64
3M2	-0.71	24.84	5.57	37.10	3M2	-2.12	24.44	5.58	37.53
3M2	-0.81	24.83	5.57	37.10	3M2	-2.22	24.07	5.56	37.65
3M2	-1.01	24.80	5.58	37.19	3M2	-2.32	23.90	5.56	37.83
3M2	-1.21	24.78	5.58	37.24	3M2	-2.42	23.65	5.55	37.95

Tabla A.7. Continuación.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
3M2	-2.52	23.33	5.52	38.02	3M2	-3.63	22.42	5.45	38.25
3M2	-2.72	23.02	5.56	38.58	3M2	-3.73	22.32	5.44	38.20
3M2	-2.82	23.15	5.56	38.42	3M2	-3.83	22.21	5.43	38.28
3M2	-2.92	23.00	5.49	38.06	3M2	-4.13	22.15	5.43	38.29
3M2	-3.02	22.60	5.46	38.15	3M2	-4.23	22.13	5.44	38.37
3M2	-3.12	22.62	5.52	38.57	3M2	-4.44	22.11	5.44	38.42
3M2	-3.23	22.65	5.51	38.50	3M2	-4.64	22.04	5.40	38.13
3M2	-3.33	22.63	5.46	38.16	3M2	-4.74	22.01	5.39	38.15
3M2	-3.43	22.48	5.48	38.42	3M2	-4.84	21.96	5.41	38.32
3M2	-3.53	22.47	5.51	38.68					
3M3	-0.10	23.77	5.46	37.01	3M3	-2.52	22.97	5.47	37.89
3M3	-0.20	23.70	5.48	37.33	3M3	-2.62	22.90	5.46	37.89
3M3	-0.30	23.66	5.49	37.44	3M3	-2.72	22.84	5.47	38.00
3M3	-0.40	23.65	5.49	37.50	3M3	-2.82	22.78	5.47	38.11
3M3	-0.50	23.64	5.48	37.39	3M3	-2.92	22.77	5.47	38.08
3M3	-0.61	23.59	5.49	37.55	3M3	-3.02	22.79	5.49	38.26
3M3	-0.71	23.60	5.50	37.57	3M3	-3.12	22.75	5.45	37.95
3M3	-0.81	23.51	5.48	37.54	3M3	-3.23	22.68	5.44	37.92
3M3	-0.91	23.51	5.48	37.54	3M3	-3.33	22.67	5.45	37.98
3M3	-1.11	23.48	5.49	37.60	3M3	-3.43	22.62	5.43	37.88
3M3	-1.21	23.47	5.51	37.76	3M3	-3.53	22.59	5.46	38.18
3M3	-1.41	23.48	5.51	37.79	3M3	-3.63	22.60	5.44	38.01
3M3	-1.51	23.46	5.50	37.74	3M3	-3.73	22.63	5.43	37.87
3M3	-1.61	23.44	5.48	37.62	3M3	-3.83	22.54	5.42	37.90
3M3	-1.71	23.43	5.51	37.81	3M3	-4.03	22.45	5.44	38.12
3M3	-1.81	23.42	5.52	37.88	3M3	-4.23	22.40	5.43	38.07
3M3	-1.92	23.42	5.52	37.92	3M3	-4.54	22.30	5.42	38.08
3M3	-2.02	23.39	5.49	37.67	3M3	-4.64	22.34	5.42	38.06
3M3	-2.12	23.31	5.50	37.89	3M3	-4.74	22.28	5.42	38.14
3M3	-2.22	23.32	5.50	37.87	3M3	-4.84	22.24	5.42	38.18
3M3	-2.32	23.13	5.50	37.99	3M3	-4.94	22.21	5.40	38.01
3M3	-2.42	23.06	5.49	37.96					
3M4	-0.10	25.05	5.48	36.28	3M4	-2.02	24.52	5.54	37.15
3M4	-0.20	25.00	5.54	36.71	3M4	-2.42	24.27	5.52	37.18
3M4	-0.50	24.98	5.58	37.07	3M4	-2.82	24.04	5.52	37.38
3M4	-0.81	24.94	5.60	37.21	3M4	-3.23	23.98	5.54	37.57
3M4	-1.11	24.91	5.59	37.18	3M4	-3.63	23.90	5.53	37.61
3M4	-1.51	24.80	5.57	37.15	3M4	-4.23	23.71	5.50	37.52
3M4	-1.71	24.70	5.57	37.21	3M4	-4.74	23.40	5.48	37.58
3M5	-0.10	25.42	5.39	35.26	3M5	-1.41	25.08	5.63	37.32
3M5	-0.20	25.41	5.39	35.27	3M5	-1.61	25.09	5.64	37.39
3M5	-0.30	25.40	5.37	35.20	3M5	-1.71	25.09	5.65	37.48
3M5	-0.40	25.27	5.37	35.24	3M5	-1.92	25.10	5.66	37.56
3M5	-0.50	25.03	5.39	35.61	3M5	-2.02	25.06	5.67	37.64
3M5	-0.61	24.99	5.48	36.29	3M5	-2.22	25.03	5.65	37.55
3M5	-0.71	24.98	5.55	36.83	3M5	-2.32	25.01	5.65	37.56
3M5	-0.81	25.02	5.57	36.96	3M5	-2.52	25.00	5.67	37.68
3M5	-0.91	25.02	5.57	36.94	3M5	-2.62	25.01	5.67	37.73
3M5	-1.11	25.05	5.57	36.94	3M5	-2.72	25.02	5.67	37.67
3M5	-1.31	25.07	5.53	36.63	3M5	-2.82	25.00	5.65	37.53

Tabla A.7. Continuación.

Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)	Estac.	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (S/m)	Salin (‰)
3M5	-2.92	24.99	5.66	37.62	3M5	-3.83	24.80	5.61	37.40
3M5	-3.12	24.99	5.64	37.51	3M5	-3.93	24.78	5.61	37.43
3M5	-3.23	24.97	5.64	37.53	3M5	-4.13	24.71	5.64	37.70
3M5	-3.33	24.96	5.65	37.56	3M5	-4.44	24.66	5.63	37.68
3M5	-3.43	24.95	5.65	37.57	3M5	-4.54	24.65	5.62	37.67
3M5	-3.53	24.92	5.63	37.50	3M5	-4.64	24.59	5.57	37.34
3M5	-3.73	24.85	5.62	37.43	3M5	-4.84	24.37	5.54	37.22
3M6	-0.10	25.04	5.55	36.78	3M6	-2.32	24.22	5.57	37.60
3M6	-0.20	24.97	5.55	36.85	3M6	-2.52	23.84	5.52	37.58
3M6	-0.30	24.92	5.57	37.03	3M6	-2.62	23.64	5.56	38.03
3M6	-0.40	24.89	5.55	36.92	3M6	-2.72	23.62	5.52	37.75
3M6	-0.50	24.74	5.58	37.23	3M6	-2.82	23.65	5.53	37.81
3M6	-0.61	24.69	5.56	37.14	3M6	-2.92	23.58	5.51	37.67
3M6	-0.71	24.74	5.59	37.33	3M6	-3.02	23.45	5.50	37.73
3M6	-0.81	24.68	5.59	37.42	3M6	-3.12	23.38	5.53	38.01
3M6	-0.91	24.66	5.60	37.48	3M6	-3.23	23.37	5.53	38.05
3M6	-1.11	24.63	5.61	37.57	3M6	-3.33	23.24	5.50	37.95
3M6	-1.21	24.63	5.62	37.67	3M6	-3.43	22.97	5.49	38.03
3M6	-1.31	24.62	5.63	37.72	3M6	-3.63	22.86	5.51	38.32
3M6	-1.41	24.61	5.63	37.73	3M6	-3.73	22.97	5.49	38.09
3M6	-1.51	24.57	5.59	37.49	3M6	-3.83	22.89	5.43	37.66
3M6	-1.61	24.55	5.62	37.72	3M6	-3.93	22.81	5.44	37.81
3M6	-1.71	24.55	5.62	37.75	3M6	-4.13	22.73	5.44	37.88
3M6	-1.81	24.50	5.62	37.75	3M6	-4.54	22.68	5.48	38.26
3M6	-1.92	24.39	5.61	37.80	3M6	-4.64	22.69	5.47	38.13
3M6	-2.02	24.32	5.62	37.90	3M6	-4.74	22.70	5.47	38.14
3M6	-2.12	24.27	5.61	37.87	3M6	-4.84	22.71	5.44	37.86
3M6	-2.22	24.20	5.64	38.20	3M6	-4.94	22.57	5.43	37.94
3M7	-0.10	24.88	5.45	36.12	3M7	-2.62	22.88	5.48	38.10
3M7	-0.20	24.81	5.47	36.36	3M7	-2.82	22.86	5.46	37.93
3M7	-0.30	24.76	5.46	36.36	3M7	-2.92	22.87	5.45	37.84
3M7	-0.40	24.55	5.54	37.08	3M7	-3.02	22.88	5.47	37.95
3M7	-0.50	24.34	5.56	37.46	3M7	-3.12	22.83	5.44	37.77
3M7	-0.71	24.09	5.56	37.63	3M7	-3.23	22.73	5.43	37.81
3M7	-0.81	23.98	5.55	37.70	3M7	-3.43	22.60	5.43	37.93
3M7	-0.91	23.85	5.54	37.67	3M7	-3.53	22.62	5.43	37.90
3M7	-1.11	23.63	5.53	37.84	3M7	-3.63	22.49	5.42	37.95
3M7	-1.51	23.45	5.53	37.97	3M7	-3.83	22.44	5.46	38.28
3M7	-1.61	23.23	5.47	37.69	3M7	-3.93	22.45	5.45	38.22
3M7	-1.71	23.18	5.49	37.87	3M7	-4.23	22.38	5.43	38.14
3M7	-1.92	23.09	5.54	38.37	3M7	-4.33	22.31	5.46	38.44
3M7	-2.12	23.10	5.55	38.40	3M7	-4.44	22.28	5.43	38.20
3M7	-2.22	23.10	5.49	37.98	3M7	-4.64	22.24	5.41	38.08
3M7	-2.32	23.00	5.46	37.81	3M7	-4.84	22.20	5.41	38.11

Tabla A.8. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 3.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
3M1	0.00	8.334	3.8	0.35	85.8	89.9	0.68	0.93	1.02	35.5	16.06	132.2	2.5
	-0.05	9.290	3.0	0.33	80.8	84.1	0.63	0.92	0.90	32.5	16.34	133.5	2.6
	-0.10	9.973	2.6	0.31	72.3	75.2	0.50	0.71	1.37	32.0	18.42	150.4	2.4
	-0.20	11.835	2.3	0.25	59.2	61.7	0.34	0.55	1.23	26.0	23.30	181.5	2.4
	-0.30	13.384	2.8	0.28	46.4	49.5	0.21	0.55	1.24	27.5	24.27	235.7	1.8
	-0.50	15.887	3.1	0.12	34.4	37.7	0.07	0.25	0.85	15.4	5.33	538.6	2.4
	-0.75	16.135	2.9	0.10	22.3	25.3	0.07	0.19	0.57	17.5	3.94	361.4	1.4
	-1.00	18.457	2.3	0.02	8.2	10.5	<0.03	0.07	0.37	7.6	2.01	>350.0	1.4
	-5.0	20.808	2.1	<0.01	0.6	2.6	<0.03	<0.03	0.08	0.9	<0.20	>86.7	2.9
3M2	0.00	9.991	2.3	0.31	75.1	77.7	0.51	0.57	1.42	31.5	8.55	152.4	2.5
	-0.05	10.506	2.5	0.31	67.3	70.1	0.46	0.69	1.38	30.0	10.05	152.4	2.3
	-0.10	11.201	2.8	0.27	63.9	67.0	0.41	0.60	1.25	29.0	9.84	163.4	2.3
	-0.20	13.252	2.9	0.21	50.6	53.7	0.30	0.50	0.91	25.5	9.59	179.0	2.1
	-0.30	15.070	2.8	0.14	40.0	42.9	0.14	0.29	0.64	19.5	7.89	306.4	2.2
	-0.50	18.237	1.8	0.02	11.6	13.5	<0.03	0.12	0.42	8.8	3.96	>450.0	1.5
	-0.75	19.294	1.6	<0.01	7.5	9.1	<0.03	0.03	0.23	5.2	2.16	>303.3	1.8
	-1.00	19.801	1.6	<0.01	3.8	5.4	<0.03	0.03	0.13	3.5	1.19	>180.0	1.5
	-5.0	20.844	1.7	<0.01	0.3	2.0	<0.03	<0.03	0.06	1.1	<0.20	>66.7	1.8
3M3	0.00	17.249	3.3	0.06	24.7	28.0	0.05	0.22	0.24	12.3	2.41	560.0	2.3
	-0.05	17.373	3.0	0.03	22.1	25.2	<0.03	0.14	0.43	11.5	2.43	>840.0	2.2
	-0.10	17.371	2.3	0.04	15.6	18.0	<0.03	0.03	0.51	11.8	2.47	>600.0	1.5
	-0.20	17.423	2.5	0.04	15.3	17.8	<0.03	0.10	0.43	11.9	2.32	>593.3	1.5
	-0.30	17.465	2.8	0.03	14.8	17.6	<0.03	0.09	0.31	11.1	2.10	>586.7	1.6
	-0.50	17.802	3.1	0.03	14.6	17.7	<0.03	0.09	0.12	10.5	1.77	>590.0	1.7
	-0.75	18.129	3.3	0.02	10.5	13.8	<0.03	0.04	0.74	9.5		>460.0	1.5
	-1.00	19.398	3.0	<0.01	7.6	10.6	<0.03	0.03	0.48	5.5	1.59	>353.3	1.9
	-5.0	20.802	1.4	<0.01	0.5	1.9	<0.03	<0.03	0.12	1.7	0.41	>63.3	1.1
3M4	0.00	13.215	2.5	0.24	39.0	41.8	0.12	0.26	0.89	25.5	4.96	348.3	1.6
	-0.05	13.200	2.5	0.22	38.5	41.2	0.13	0.30	0.83	24.5	4.86	316.9	1.7
	-0.10	13.210	2.4	0.25	43.3	45.9	0.12	0.29	0.87	25.0	5.01	382.5	1.8
	-0.20	13.289	2.5	0.20	32.6	35.2	0.14	0.29	0.75	25.5	4.78	251.4	1.4
	-0.30	13.609	2.1	0.19	30.6	32.9	0.15	0.30	0.37	26.0	4.30	219.3	1.3
	-0.50	19.122	2.1	<0.01	8.7	10.8	0.03	0.08	0.31	5.7	1.78	360.0	1.9
	-0.75	20.103	1.8	<0.01	1.0	2.8	<0.03	0.07	0.17	2.4	1.23	>93.3	1.2
	-1.00	20.033	1.8	<0.01	0.7	2.5	<0.03	<0.03	<0.03	1.6	0.90	>83.3	1.6
	-5.0	20.531	1.6	<0.01	<0.1	1.6	<0.03	<0.03	0.09	1.0	<0.20	>53.3	1.6
3M5	0.00	18.584	2.2	0.02	12.4	14.6	<0.03	0.04	0.19	6.5	2.79	>486.7	2.2
	-0.05	18.559	2.5	0.01	12.6	15.1	<0.03	<0.03	0.20	6.4	2.74	>503.3	2.4
	-0.10	18.597	2.0	0.02	13.2	15.2	<0.03	0.03	0.39	6.7	3.00	>506.7	2.3
	-0.20	18.658	2.3	0.01	11.4	13.8	<0.03	0.06	0.35	6.2	2.59	>460.0	2.2
	-0.30	18.729	2.6	0.01	11.4	14.0	<0.03	0.03	0.47	6.0	2.31	>466.7	2.3
	-0.50	18.939	1.3	<0.01	9.4	10.7	<0.03	0.03	0.16	5.5	2.39	>356.7	1.9
	-0.75	19.087	1.7	<0.01	7.7	9.4	<0.03	0.12	0.12	4.7	2.33	>313.3	2.0
	-1.00	19.372	2.1	<0.01	5.6	7.7	<0.03	0.08	0.27	3.9	2.05	>256.7	2.0
	-5.0	20.648	1.9	<0.01	<0.1	1.9	<0.03	0.05		0.8	<0.20	>63.3	2.4

Tabla A.8. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
3M6	0.00	17.798	2.0	0.05	19.1	21.1	<0.03	0.17	0.30	9.5	2.32	>703.3	2.2
	-0.05	17.832	1.9	0.04	17.6	19.6	<0.03	0.20	0.26	9.3	2.29	>653.3	2.1
	-0.10	17.804	2.2	0.04	12.7	14.9	<0.03	0.06	0.40	9.2	2.51	>496.7	1.6
	-0.20	17.789	2.2	0.05	15.1	17.4	<0.03	0.06	0.28	9.4	2.57	>580.0	1.9
	-0.30	17.869	2.1	0.04	15.5	17.6	<0.03	0.04	0.28	9.3	2.33	>586.7	1.9
	-0.50	18.133	1.9	0.04	13.5	15.3	<0.03	0.19	0.35	8.6	2.07	>510.0	1.8
	-0.75	19.189	1.9	<0.01	9.4	11.3	<0.03	0.03	0.07	5.2	1.57	>376.7	2.2
	-1.00	20.546	1.8	<0.01	<0.1	1.8	<0.03	0.06	0.12	1.6	0.70	>60.0	1.1
	-5.0	20.874	1.8	<0.01	0.4	2.2	<0.03	<0.03	0.05	0.7	<0.20	>73.3	3.1
3M7	0.00	12.217	2.5	0.28	34.5	37.3	0.34	0.50	1.28	30.0	5.41	109.7	1.2
	-0.05	12.296	2.6	0.28	44.6	47.4	0.22	0.46	1.20	30.5	5.86	215.5	1.6
	-0.10	12.405	2.5	0.28	52.2	55.0	0.25	0.44	1.18	26.0	5.61	220.0	2.1
	-0.20	13.398	2.3	0.22	34.9	37.4	0.13	0.35	0.91	25.5	5.25	287.7	1.5
	-0.30	15.427	2.6	0.13	19.3	22.0	0.08	0.26	0.69	18.0	3.51	275.0	1.2
	-0.50	19.625	1.6	<0.01	5.0	6.7	<0.03	0.05	0.29	4.3	1.13	>223.3	1.6
	-0.75	20.456	1.5	<0.01	0.1	1.5	<0.03	<0.03	0.12	1.6	0.63	>50.0	0.9
	-1.00	20.458	1.6	<0.01	0.6	2.2	<0.03	<0.03	<0.03	1.7	0.56	>73.3	1.3
	-5.0	20.881	1.5	<0.01	<0.1	1.5	<0.03	0.09	0.10	0.6	<0.20	>50.0	2.5

Tabla A.9. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 4.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
4M1	0.00	1.680	9.9	2.93	113.1	125.9	1.28	1.49	2.53	120.0	7.39	98.4	1.1
	-0.05	1.641	9.1	3.03	122.2	134.3	2.54	2.55		114.0	7.11	52.9	1.2
	-0.10	1.648	9.5	3.05	46.6	59.1	2.78	2.86	3.40	113.0	7.42	21.3	0.5
	-0.20	1.717	8.4	2.78	38.7	49.9	2.45	2.48		108.0	6.82	20.4	0.5
	-0.30	1.682	7.3	2.73	82.4	92.4	2.54	2.62		113.0	6.36	36.4	0.8
	-0.50	1.665	7.7	2.80	30.4	40.9	2.81	2.87	2.98	113.0	6.86	14.6	0.4
	-0.75	1.690	7.5	2.83	111.1	121.4	2.64	2.73	3.10	112.0	7.05	46.0	1.1
	-1.00	1.661	8.5	2.78	121.4	132.7	2.69			107.0	7.26	49.3	1.2
	-3.1	19.559	1.2	0.16	10.5	11.9	0.15	0.25	0.22	8.7	3.46	79.3	1.4
4M2	0.00	14.488	3.2	0.80	43.3	47.3	0.54	0.90	1.23	35.0	1.41	87.6	1.4
	-0.05	14.470	4.0	0.83	23.0	27.9	0.45	0.74	0.97	35.8	1.60	62.0	0.8
	-0.10	14.564	4.3	0.81	27.0	32.1	0.52	0.63	0.95	34.0	1.49	61.7	0.9
	-0.20	15.419	2.0	0.71	24.9	27.7	0.51	0.73	0.76	30.3	1.55	54.3	0.9
	-0.30	16.325	1.6	0.59	31.0	33.1	0.47	0.59	0.81	24.8	1.51	70.4	1.3
	-0.50	16.329	1.7	0.64	17.1	19.4	0.44	0.55	0.73	24.8	1.86	44.1	0.8
	-0.75	17.800	0.9	0.42	20.6	21.9	0.44	0.44	0.67	18.0	1.39	49.8	1.2
	-1.00	18.252	1.0	0.28	16.6	17.9	0.22	0.43	0.40	16.0	1.26	81.4	1.1
	-5.0	19.130	0.6	0.17	13.2	14.0	0.17	0.27	0.34	10.6	1.04	82.4	1.3
	-12.5	21.088	0.6	<0.01	0.7	1.4	<0.03		0.06	2.0	0.46	>46.7	0.7

Tabla A.9. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
4M3	0.00	14.674	1.9	0.88	38.5	41.2	0.50	0.78	0.99	34.0	2.28	82.4	1.2
	-0.05	14.222	2.1	0.96	29.6	32.7	0.49	1.13	1.15	35.0	2.40	66.7	0.9
	-0.10	14.497	1.8	0.90	28.3	31.0	0.49	0.74	0.96	32.8	2.41	63.3	1.0
	-0.20	14.658	1.6	0.87	41.3	43.8	0.50	0.85	0.99	31.5	2.11	87.6	1.4
	-0.30	15.107	1.8	0.83	35.8	38.5	0.49	0.65	0.91	31.3	2.16	78.6	1.2
	-0.50	17.307	0.5	0.42	23.1	24.1	0.43	0.45	0.60	20.3	1.29	56.0	1.2
	-0.75	18.161	1.7	0.33	16.7	18.8	0.21	0.36	0.51	13.8	1.49	89.5	1.4
	-1.00	18.550	1.1	0.26	16.3	17.7	0.21	0.33	0.47	12.9	1.55	84.3	1.4
	-5.0	20.702	1.2	0.01	2.1	3.3	<0.03	0.08	0.09	4.2	1.68	>110.0	0.8
4M4	0.00	9.520	3.5	1.68	60.5	65.6	1.01	1.21	1.53	61.5	2.68	65.0	1.1
	-0.05	10.011	3.5	1.77	51.6	56.9	0.99	1.53	1.55	59.0	2.83	57.5	1.0
	-0.10	10.189	3.5	1.65	65.0	70.1	0.94	1.47	1.50	58.0	2.60	74.6	1.2
	-0.20	10.578	3.3	1.47	63.9	68.7	0.89	1.33	1.59	55.0	2.49	77.2	1.3
	-0.30	11.143	2.8	1.39	57.2	61.4	0.71	1.07	1.59	52.5	2.51	86.5	1.2
	-0.50	12.035	2.4	1.24	51.1	54.7	0.67	0.93	1.33	44.8	2.36	81.6	1.2
	-0.75	14.576	1.1	0.75	40.2	42.0	0.31	0.64	1.06	27.5	1.88	135.5	1.5
	-1.00	17.970	1.0	0.29	16.5	17.8	0.24	0.29	0.48	14.7	1.71	74.2	1.2
	-5.0	18.792	1.2	0.25	14.3	15.8	0.16	0.23	0.38	11.0	1.62	98.8	1.4
4M5	0.00	13.307	1.7	0.88	47.5	50.1	0.48	0.86	1.19	39.8	1.35	104.4	1.3
	-0.05	14.232	1.9	0.81	42.1	44.8	0.46	0.60	1.85	36.0	1.32	97.4	1.2
	-0.10	15.085	1.4	0.71	38.7	40.8	0.38	0.92	1.28	27.8	1.34	107.4	1.5
	-0.20	15.604	1.1	0.62	35.9	37.6	0.42	0.66	0.79	29.8	1.35	89.5	1.3
	-0.30	16.300	0.5	0.52	30.0	31.0	0.43	0.53	0.77	25.8	1.38	72.1	1.2
	-0.50	16.591	0.2	0.45	24.8	25.4	0.37	0.40	0.61	23.3	1.39	68.6	1.1
	-0.75	17.750	1.4	0.33	18.5	20.2	0.25	0.48	0.57	14.7	1.54	80.8	1.4
	-1.00	18.909	1.0	0.19	14.4	15.5	0.11	0.32	0.39	10.6	1.51	140.9	1.5
	-5.0	20.614	0.6	<0.01	3.2	3.8	<0.03	0.03	0.13	3.9	0.66	>126.7	1.0
4M6	0.00	17.144	<0.1	0.44	21.3	21.8	0.37	0.43	0.97	20.5	1.63	58.9	1.1
	-0.05	16.765	0.1	0.49	24.4	24.9	0.39	0.67	0.99	22.5	1.71	63.8	1.1
	-0.10	16.995	0.2	0.49	24.9	25.6	0.38	0.53	0.65	21.8	1.66	67.4	1.2
	-0.20	16.951	0.3	0.48	25.9	26.7	0.39	0.49	0.78	21.5	1.92	68.5	1.2
	-0.30	17.046	0.3	0.48	20.9	21.7	0.37		0.68	21.0	1.67	58.6	1.0
	-0.50	17.072	0.1	0.46	22.8	23.3	0.35	0.37	0.79	21.5	1.61	66.6	1.1
	-0.75	17.519	1.2	0.40	23.0	24.6	0.25	0.43	0.54	17.3	1.75	98.4	1.4
	-1.00	18.669	0.5	0.25	15.4	16.2	0.14	0.27	0.45	11.6	1.74	115.7	1.4
	-5.0	21.119	0.3	<0.01	1.7	2.1	<0.03	<0.03	0.42	1.5	<0.20	>70.0	1.4
4M7	0.00	17.128	0.1	0.42	24.1	24.6	0.41		0.84	19.8	1.47	60.0	1.2
	-0.05	16.838	0.5	0.48	28.8	29.8	0.44	0.46	0.91	22.0	1.51	67.7	1.4
	-0.10	16.939	0.1	0.44	21.3	21.9	0.39	0.40	1.00	21.3	1.55	56.2	1.0
	-0.20	17.108	1.7	0.43	24.9	27.0	0.32	0.42	0.72	17.3	2.82	84.4	1.6
	-0.30	17.251	1.4	0.40	24.1	25.9	0.32	0.33	0.71	16.5	1.54	80.9	1.6
	-0.50	17.367	1.5	0.42	23.1	25.1	0.33	0.50	0.63	17.0	1.79	76.1	1.5
	-0.75	18.948	0.5	0.18	15.8	16.5	0.13	0.15	0.32	10.7	1.51	126.9	1.5
	-1.00	19.825	0.2	0.03	8.1	8.3	0.03	0.07	0.20	6.7	0.95	276.7	1.2
	-5.0	20.590	0.2	<0.01	4.0	4.2	<0.03	0.04	0.33	3.6	0.46	>140.0	1.2

Tabla A.10. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 5.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
5M1	0.00	19.845	1.6	0.25	7.9	9.8	0.19	0.25	0.28	7.5	0.82	51.6	1.3
	-0.05	19.806	1.6	0.27	8.1	10.0	0.19	0.20	0.22	7.6	0.79	52.6	1.3
	-0.10	19.841	1.6	0.23	7.6	9.4	0.22	0.24	0.26	6.9	0.77	42.7	1.4
	-0.20	19.961	1.1	0.18	7.7	8.9	0.15	0.14	0.19	6.9	0.69	59.3	1.3
	-0.30	19.958	1.1	0.19	6.9	8.2	0.16	0.16	0.24	6.8	0.65	51.3	1.2
	-0.50	20.029	1.0	0.17	7.3	8.5	0.18	0.21	0.21	6.6	0.86	47.2	1.3
	-0.75	20.184	1.7	0.23	6.0	7.9	0.18	0.18	0.21	5.7	0.65	43.9	1.4
	-1.00	20.610	1.2	0.10	3.1	4.4	0.20	0.23	0.28	3.8	0.48	22.0	1.2
	-5.0	21.017	0.9	<0.01	0.7	1.6	0.25	0.26	0.34	2.2	0.45	6.4	0.7
5M2	0.00	14.823	1.0	1.48	40.3	42.8	0.42	0.64	1.00	31.3	2.74	101.9	1.4
	-0.05	15.221	0.8	1.28	37.3	39.3	0.38	0.69	0.84	29.5	2.68	103.4	1.3
	-0.10	15.760	0.7	1.08	34.7	36.5	0.30	0.65	0.80	23.8	2.80	121.7	1.5
	-0.20	16.363	1.7	0.94	26.5	29.2	0.35	0.41	0.61	21.5	2.92	83.4	1.4
	-0.30	17.406	1.3	0.67	21.1	23.1	0.25	0.45	0.54	18.3	3.00	92.4	1.3
	-0.50	18.275	2.1	0.45	13.3	15.9	0.09	0.15	0.36	11.0	3.03	176.7	1.4
	-0.75	19.644	1.9	0.22	9.0	11.1	0.11		0.25	7.8	2.74	100.9	1.4
	-1.00	20.171	1.2	0.08	4.9	6.2	0.06	0.12	0.14	5.5	2.04	103.3	1.1
	-5.0	20.916	0.9	<0.01	3.6	4.5	0.03	0.04	0.05	1.5	0.47	150.0	3.0
5M3	0.00	3.731	4.2	4.78	74.2	83.2	2.40	2.39	2.45	94.0	8.07	34.7	0.9
	-0.05	3.832	4.1	4.55	109.8	118.4	2.40	2.44	2.63	100.0	7.54	49.3	1.2
	-0.10	4.546	4.1	4.28	86.9	95.3	2.28	2.38	2.52	88.0	7.27	41.8	1.1
	-0.20	5.334	4.9	4.20	100.3	109.4	2.17	2.34		91.0	6.53	50.4	1.2
	-0.30	6.471	2.5	3.75	90.1	96.3	1.56	2.06	2.37	71.0	6.24	61.7	1.4
	-0.50	9.622	1.8	2.95	69.8	74.6	1.08	1.54	1.58	55.5	5.67	69.1	1.3
	-0.75	15.251	1.8	1.17	36.5	39.5	0.36	0.60	0.91	28.3	5.44	109.7	1.4
	-1.00	19.344	1.1	0.24	9.2	10.5	0.09	0.10	0.28	9.4	4.98	116.7	1.1
	-2.0	19.904	0.4	0.07	6.7	7.2	0.09	0.07	0.22	6.5	3.72	80.0	1.1
5M4	0.00	3.449	4.9	4.28	85.9	95.1	2.47	2.57	2.61	105.0	6.19	38.5	0.9
	-0.05	3.990	4.7	4.30	105.3	114.3	2.40	2.60		90.0	5.73	47.6	1.3
	-0.10	4.771	4.6	4.00	89.8	98.4	2.03	2.10	2.09	89.0	6.22	48.5	1.1
	-0.20	6.104	2.4	3.88	95.3	101.6	1.50	1.87	1.98	66.5	5.38	67.7	1.5
	-0.30	8.877	1.9	2.88	76.3	81.1	1.20	1.64	1.97	62.0	4.93	67.6	1.3
	-0.50	12.513	0.8	1.79	56.5	59.1	0.55	0.89	1.29	42.0	4.13	107.5	1.4
	-0.75	16.793	0.9	0.66	27.3	28.8	0.17	0.39	0.69	20.8	3.49	169.4	1.4
	-1.00	18.636	0.9	0.34	16.3	17.6	0.14	0.15	0.36	11.5	4.09	125.7	1.5
	-5.0	20.830	0.5	<0.01	1.7	2.2	0.03	0.05	0.07	2.6	0.66	73.3	0.8
5M5	0.00	12.914	1.5	1.46	51.0	54.0	0.54	0.92	0.93	43.5	1.73	100.0	1.2
	-0.05	13.177	1.3	1.35	49.5	52.1	0.47	0.80	0.90	37.3	2.07	110.9	1.4
	-0.10	14.303	1.0	1.09	42.4	44.4	0.49	0.72	0.91	33.3	1.89	90.6	1.3
	-0.20	14.610	1.2	1.07	40.4	42.7	0.51	0.68	0.79	33.3	1.93	83.7	1.3
	-0.30	15.792	2.0	0.84	34.3	37.1	0.24	0.53	0.63	23.3	2.70	154.6	1.6
	-0.50	18.511	2.1	0.36	16.8	19.3	0.09	0.18	0.26	13.5	3.24	214.4	1.4
	-0.75	19.295	1.0	0.18	10.8	11.9	0.06	0.08	0.24	9.1	4.13	198.3	1.3
	-1.00	19.668	0.7	0.16	8.3	9.2	0.03	0.05	0.17	7.6	4.28	306.7	1.2
	-5.0	20.112	0.3	0.08	4.8	5.2	0.03	0.04	0.11	5.5	4.35	173.3	0.9

Tabla A.10. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
5M6	0.00	20.246	0.5	0.04	3.8	4.4	0.09	0.08	0.13	5.1	3.07	48.9	0.9
	-0.05	20.208	0.6	0.06	4.1	4.7	0.06	0.09	0.15	5.2	2.44	78.3	0.9
	-0.10	20.226	0.4	0.04	4.2	4.7	0.06	0.09	0.09	5.2	2.19	78.3	0.9
	-0.20	20.213	0.4	0.05	4.0	4.5	0.09	0.11	0.16	5.1	3.22	50.0	0.9
	-0.30	20.136	0.4	0.03	3.3	3.8	0.09	0.09	0.15	5.0	3.76	42.2	0.8
	-0.50	20.244	0.1	0.01	3.5	3.7	0.10		0.12	4.9	3.14	37.0	0.8
	-0.75	20.248	0.3	0.04	3.5	3.9	0.10	0.12		4.9	3.18	39.0	0.8
	-1.00	20.132	0.3	0.03	3.9	4.3	0.11	0.12	0.15	4.8	3.48	39.1	0.9
	-5.0	20.989	0.6	<0.01	1.2	1.8	0.09		0.10	2.0	0.75	20.0	0.9
5M7	0.00	21.077	0.9	<0.01	0.6	1.5	0.06	0.04	0.10	1.5	0.32	25.0	1.0
	-0.05	21.077	0.5	<0.01	0.7	1.1	0.03	0.06	0.11	1.3	0.49	36.7	0.8
	-0.10	21.068	0.6	<0.01	0.8	1.4	0.04	0.05	0.08	2.0	0.41	35.0	0.7
	-0.20	21.062	0.6	<0.01	0.5	1.2	0.06	0.07	0.07	1.3	0.35	20.0	0.9
	-0.30	21.026	0.5	<0.01	0.6	1.1	0.04	<0.03	0.08	1.2	0.26	27.5	0.9
	-0.50	20.907	0.4	<0.01	1.0	1.4	<0.03	0.03	0.06	1.1	0.37	>46.7	1.3
	-0.75	21.071	0.6	<0.01	0.7	1.4	0.04	<0.03	0.09	1.5	0.28	35.0	0.9
	-1.00	20.909	0.1	<0.01	0.6	0.7	<0.03	0.04	0.04	1.2	0.40	>23.3	0.6
	-5.0	21.077	<0.1	<0.01	0.7	0.7	<0.03	<0.03	0.19	1.1	0.33	>23.3	0.6
5M8	0.00	16.342	0.3	0.89	24.5	25.6	0.13	0.43	0.66	23.5	4.91	196.9	1.1
	-0.05	16.372	0.3	0.89	26.7	27.9	0.13	0.46	0.61	19.3	5.21	214.6	1.4
	-0.10	16.368	0.7	0.92	27.1	28.8	0.16	0.46	0.60	20.0	4.35	180.0	1.4
	-0.20	16.385	0.6	0.91	28.0	29.5	0.17	0.48	0.54	20.8	4.36	173.5	1.4
	-0.30	16.386	1.0	0.90	24.0	25.9	0.21	0.37	0.64	20.8	5.00	123.3	1.2
	-0.50	16.620	0.5	0.83	24.1	25.4	0.19	0.39	0.70	18.8	4.83	133.7	1.4
	-0.75	17.202	0.4	0.70	21.2	22.2	0.18	0.31	0.55	18.0	4.30	123.3	1.2
	-1.00	18.323	0.8	0.48	16.1	17.3	0.13	0.20	0.39	12.1	3.55	133.1	1.4
	-5.0	21.053	0.6	<0.01	0.6	1.2	<0.03	0.04	0.06	1.5	0.42	>40.0	0.8

Tabla A.11. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 6.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
6M1	0.00	1.959	2.4	4.18	122.8	129.4	2.16	2.59		96.0	12.98	59.9	1.3
	-0.05	1.856	3.0	4.15	64.9	72.0	2.31	2.40	2.62	107.0	11.21	31.2	0.7
	-0.10	1.750	3.5	4.23	12.0	19.7	2.38	2.63	2.62	112.0	11.77	8.3	0.2
	-0.20	1.751	3.6	4.23	117.6	125.4	2.43	2.61	2.83	110.0	12.14	51.6	1.1
	-0.30	1.952	2.8	4.00	123.7	130.5	2.42	2.53	2.80	112.0	12.01	53.9	1.2
	-0.50	2.110	3.7	3.95	117.6	125.2	2.19	2.27		103.0	11.24	57.2	1.2
	-0.75	2.096	3.5	3.88	85.6	93.0	2.45	2.59		106.0	10.79	38.0	0.9
	-1.00	10.175	2.6	2.45	57.0	62.0	0.93	1.40	1.99	54.5	7.36	66.7	1.1
	-2.0	19.607	3.1	0.31	6.2	9.6	0.10	0.09	0.34	7.3	7.26	96.0	1.3
6M2	0.00	14.228	0.8	1.48	42.1	44.4	0.35	0.64	1.10	35.0	5.06	126.9	1.3
	-0.05	14.923	1.0	1.19	35.7	37.9	0.24	0.47	0.74	29.5	4.98	157.9	1.3
	-0.10	16.202	2.8	1.01	26.5	30.3	0.12	0.40	0.80	27.1	4.91	252.5	1.1
	-0.20	18.052	2.6	0.63	15.7	18.9	0.04	0.18	0.51	12.3	4.23	472.5	1.5
	-0.30	19.211	1.2	0.29	8.8	10.3	0.04	0.13	0.27	8.4	4.32	257.5	1.2

Tabla A.11. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
6M2	-0.50	19.932	1.3	0.20	4.4	5.9	0.07	0.13	0.14	6.1	4.37	84.3	1.0
	-0.75	20.077	2.1	0.22	3.9	6.2	0.10	0.08	0.19	5.6	3.94	62.0	1.1
	-1.00	20.303	0.9	0.09	2.1	3.1	0.10	0.07	0.20	4.6	3.56	31.0	0.7
	-5.0	20.971	1.7	0.05	0.1	1.8	0.10	0.07	0.07	2.0	1.17	18.0	0.9
6M3	0.00	13.744	1.3	1.63	43.7	46.6	0.31	0.86	1.17	33.8	5.35	150.3	1.4
	-0.05	14.259	1.3	1.47	33.5	36.3	0.36	0.85	0.90	33.8	4.76	100.8	1.1
	-0.10	16.018	3.2	1.06	28.8	33.1	0.05	0.43	0.61	23.9	4.70	662.0	1.4
	-0.20	18.321	2.3	0.56	15.3	18.2	0.06	0.15	0.44	10.6	4.65	303.3	1.7
	-0.30	18.800	1.1	0.38	11.9	13.4	0.04	0.10	0.36	10.5	4.69	335.0	1.3
	-0.50	19.644	1.6	0.23	7.4	9.2	<0.03	0.13	0.22	8.0	4.44	>306.7	1.2
	-0.75	19.913	0.7	0.14	4.8	5.6	0.04	0.06	0.15	6.2	3.57	140.0	0.9
	-1.00	20.263	1.4	0.12	3.7	5.2	0.05	0.11	0.15	4.8	2.25	104.0	1.1
	-5.0	20.956	2.8	0.09	<0.1	2.9	<0.03	0.09	0.11	2.3	0.30	>96.7	1.3
6M4	0.00	12.823	1.5	1.77	50.1	53.4	0.55	0.96	0.97	41.0	2.81	97.1	1.3
	-0.05	13.138	1.9	1.72	38.0	41.6	0.55			38.5	2.94	75.6	1.1
	-0.10	15.347	3.0	1.21	33.2	37.4	0.37	0.69	0.77	29.1	2.13	101.1	1.3
	-0.20	16.529	2.5	0.91	23.3	26.7	0.29	0.50	0.60	18.8	1.89	92.1	1.4
	-0.30	18.308	2.3	0.59	13.7	16.6	0.05	0.30	0.39	12.5	1.72	332.0	1.3
	-0.50	19.326	1.3	0.34	10.8	12.4	0.05	0.22	0.24	10.8	1.07	248.0	1.1
	-0.75	19.950	2.1	0.26	6.3	8.7	0.06	0.15	0.14	7.2	0.67	145.0	1.2
	-1.00	20.925	1.5	0.03	0.4	1.9	0.04	0.05	0.05	3.1	0.31	47.5	0.6
	-5.0	21.064	2.3	0.05	0.2	2.5	<0.03	0.05	0.03	2.1	0.28	>83.3	1.2
6M5	0.00	21.099	1.5	0.05	<0.1	1.5	0.04	0.07		1.4	0.26	37.5	1.1
	-0.05	21.077	2.6	0.05	<0.1	2.6	0.04	0.03	0.04	1.4	<0.20	65.0	1.9
	-0.10	21.097	1.8	0.05	0.4	2.2	<0.03	<0.03	0.04	1.4	0.20	>73.3	1.6
	-0.20	21.075	1.5	0.05	<0.1	1.5	<0.03	0.03	0.05	1.4	<0.20	>50.0	1.1
	-0.30	20.934	1.5	0.01	0.1	1.6	<0.03	0.05	0.05	1.6	<0.20	>53.3	1.0
	-0.50	21.033	1.5	0.05	<0.1	1.5	<0.03	0.05	0.05	1.5	<0.20	>50.0	1.0
	-0.75	21.000	3.3	0.13	0.1	3.5	<0.03	<0.03	<0.03	1.4	<0.20	>116.7	2.5
	-1.00	21.077	2.4	0.07	<0.1	2.5	<0.03	<0.03	<0.03	1.2	<0.20	>83.3	2.1
	-5.0	21.106	2.8	0.09	<0.1	2.9	<0.03	<0.03	<0.03	1.3	<0.20	>96.7	2.2
6M6	0.00	19.830	1.5	0.15	5.5	7.1	0.11		0.17	6.1	2.10	64.5	1.2
	-0.05	19.978	2.1	0.21	6.0	8.3	0.05	0.08	0.19	6.3	1.89	166.0	1.3
	-0.10	19.952	1.5	0.15	6.3	7.9	<0.03	0.08	0.17	6.5	2.56	>263.3	1.2
	-0.20	19.974	1.5	0.15	6.0	7.6	<0.03	0.08	0.14	6.6	2.33	>253.3	1.2
	-0.30	19.939	2.1	0.23	6.0	8.3	<0.03	0.10	0.11	6.8	2.29	>276.7	1.2
	-0.50	19.972	2.6	0.22	5.6	8.4	<0.03	0.08	0.09	8.1	2.40	>280.0	1.0
	-0.75	19.978	2.1	0.22	5.7	8.0	<0.03	0.07	0.11	6.4	2.10	>266.7	1.3
	-1.00	20.173	2.2	0.19	4.7	7.1	0.03	0.09	0.11	5.6	1.73	236.7	1.3
	-5.0	21.073	1.5	<0.01	0.4	1.9	<0.03	<0.03	<0.03	1.5	<0.20	>63.3	1.3
6M7	0.00	20.068	1.7	0.17	3.6	5.5	0.09	0.11	0.18	5.5	3.11	61.1	1.0
	-0.05	20.112	1.5	0.09	3.6	5.2	<0.03	0.07	0.14	5.6	3.05	>173.3	0.9
	-0.10	20.086	2.4	0.18	3.5	6.1	0.04	0.09	0.14	5.9	3.26	152.5	1.0
	-0.20	19.913	2.2	0.14	3.4	5.7	<0.03	0.05	0.14	5.6	3.47	>190.0	1.0
	-0.30	20.048	1.9	0.11	3.7	5.7	<0.03	0.03	0.16	5.4	3.15	>190.0	1.1
	-0.50	20.079	1.5	0.11	3.8	5.4	<0.03	0.11	0.16	6.8	3.16	>180.0	0.8

Tabla A.11. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
6M7	-0.75	20.096	1.3	0.07	3.5	4.9	<0.03	0.05	0.17	5.4	3.46	>163.3	0.9
	-1.00	20.123	1.2	0.08	2.9	4.2	<0.03	0.07	0.10	5.2	2.93	>140.0	0.8
	-5.0	21.077	1.4	<0.01	<0.1	1.4	<0.03		<0.03	1.5	0.36	>46.7	0.9
6M8	0.00	15.659	2.0	1.05	29.3	32.3	0.25	0.34	0.85	23.7	6.14	129.2	1.4
	-0.05	15.784	2.4	1.08	29.0	32.5	0.18	0.30	0.69	22.5	7.67	180.6	1.4
	-0.10	15.631	2.4	1.06	27.0	30.5	0.21	0.30	0.77	22.5	6.36	145.2	1.4
	-0.20	16.109	1.2	0.91	29.7	31.8	0.14	0.36	0.51	19.7	7.60	227.1	1.6
	-0.30	16.217	1.3	0.90	23.3	25.5	0.32	0.55	0.62	14.1	6.21	79.7	1.8
	-0.50	16.876	0.8	0.74	19.3	20.8	0.31	0.46	0.62	15.3	7.72	67.1	1.4
	-0.75	17.191	1.8	0.70	18.4	20.9	0.14	0.18	0.58	9.9	6.25	149.3	2.1
	-1.00	18.939	1.3	0.34	10.7	12.3	0.05	0.06	0.33	7.1	7.16	246.0	1.7
	-5.0	20.969	1.4	<0.01	0.2	1.6	<0.03	0.07	0.09	1.7	0.86	>53.3	0.9

Tabla A.12. Conductividad (mS/cm) del transecto previo. Muestreo 7.

Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)	Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)
	UTM x	UTM y			UTM x	UTM y	
7T1	319889.4	4511976.9	4.6	7T20	322958.9	4517253.5	39.6
7T2	319691.4	4512518.7	6.2	7T21	322686.3	4517037.8	41.1
7T3	319724.0	4512703.0	8.2	7T22	322242.8	4516733.7	39.4
7T4	319806.1	4513182.4	12.3	7T23	321879.6	4516261.1	41.0
7T5	320045.5	4514343.0	21.9	7T24	321716.8	4515931.8	42.1
7T6	320048.7	4514472.5	25.5	7T25	321462.5	4515308.4	36.8
7T7	320126.2	4514766.8	20.2	7T26	321356.0	4514977.7	33.7
7T8	320220.1	4515153.3	25.7	7T27	321311.6	4514886.2	23.8
7T9	320700.4	4515808.2	34.9	7T28	320990.0	4514394.1	12.5
7T10	320824.2	4516268.1	36.9	7T29	321353.8	4513718.8	14.1
7T11	321112.0	4517112.7	33.9	7T30	321713.0	4513432.5	18.0
7T12	321200.4	4517277.2	44.0	7T31	321943.7	4513075.2	18.5
7T13	321617.4	4518229.9	26.5	7T32	322134.5	4512811.4	11.1
7T14	322767.6	4518665.1	31.3	7T33	321358.7	4512756.0	11.5
7T15	323275.5	4518727.0	33.9	7T34	321343.3	4512700.8	8.3
7T16	323897.3	4518841.8	33.6	7T35	320287.9	4512726.3	14.7
7T17	324052.0	4518245.6	40.1	7T36	320317.8	4512799.7	7.3
7T18	323465.3	4517833.8	43.1	7T37	319812.2	4512275.0	3.9
7T19	323246.4	4517505.8	42.4	7T38	319755.9	4512276.4	4.2

Tabla A.13. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 7.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
7M1	0.00	1.165	5.8	3.15	173.6	182.6	1.21	1.47	2.34	59.5	6.46	150.9	3.1
	-0.05	1.149	5.7	3.23	131.2	140.1	1.60	2.20	2.45	57.5	6.55	87.6	2.4
	-0.10	1.139	5.6	3.15	164.1	172.9	1.57	2.24	2.38	64.0	6.71	110.1	2.7
	-0.20	1.188	5.6	3.20	142.1	150.9	1.08	1.52	2.75	62.5	6.73	139.7	2.4
	-0.30	1.172	5.5	3.25	178.7	187.5	1.48	1.70	2.16	63.0	6.85	126.7	3.0
	-0.50	1.752	6.0	3.03	150.9	159.9	1.98	2.11	2.40	54.5	6.70	80.8	2.9
	-0.75	4.331	5.6	2.75	154.5	162.9	1.47	2.13	2.46	51.5	5.46	110.8	3.2

Tabla A.13. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
7M1	-1.00	9.731	3.9	1.62	113.5	119.0	1.32	1.76		34.5	3.65	90.2	3.4
7M2	0.00	15.239	2.1	0.93	62.0	65.0	0.56	0.77	0.80	20.5	2.58	116.1	3.2
	-0.05	15.482	1.8	0.86	47.0	49.7	0.37	0.89	0.93	16.7	2.47	134.3	3.0
	-0.10	15.974	1.6	0.82	54.3	56.7	0.57	0.68	0.89	18.7	2.32	99.5	3.0
	-0.20	16.315	1.5	0.84	50.9	53.2	0.39	0.50	0.68	17.6	2.41	136.4	3.0
	-0.30	16.593	1.3	0.81	52.1	54.2	0.36	0.49	0.68	16.9	2.34	150.6	3.2
	-0.50	18.385	1.0	0.66	31.3	33.0	0.16	0.22	0.29	10.8	2.32	206.3	3.1
	-0.75	20.399	0.3	0.43	7.7	8.4	0.04	0.06	0.15	4.1	1.98	210.0	2.0
	-1.00	20.762	0.7	0.43	4.0	5.1	<0.03	<0.03	<0.03	2.3	1.25	>170.0	2.2
	-5.0	21.037	0.3	0.43	2.0	2.7	<0.03	<0.03	0.06	1.7	1.24	>90.0	1.6
7M3	0.00	15.398	1.5	0.89	48.3	50.7	0.50		0.74	20.2	2.38	101.4	2.5
	-0.05	14.773	1.8	0.98	65.1	67.9	0.58	0.64	1.07	16.8	2.35	117.1	4.0
	-0.10	16.240	1.2	0.79	42.4	44.4	0.35	0.65	0.74	17.0	2.38	126.9	2.6
	-0.20	17.098	1.3	0.80	43.1	45.2	0.22	0.29	0.36	14.9	2.37	205.5	3.0
	-0.30	17.566	1.5	0.77	36.3	38.6	0.21	0.29	0.34	13.4	2.27	183.8	2.9
	-0.50	19.697	1.0	0.55	19.4	21.0	<0.03	0.15	0.15	6.1	1.93	>700.0	3.4
	-0.75	20.566	0.1	0.29	5.8	6.2	<0.03	<0.03	<0.03	3.0	1.51	>206.7	2.1
	-1.00	20.652	0.3	0.32	5.3	5.9	<0.03	<0.03	<0.03	2.6	1.39	>196.7	2.3
	-5.0	21.046	0.8	0.36	1.8	3.0	<0.03	<0.03	<0.03	1.6	1.11	>100.0	1.9
7M4	0.00	18.178	1.3	0.66	31.7	33.7	0.06	0.12	0.28	10.4	1.96	561.7	3.2
	-0.05	18.428	1.6	0.61	29.6	31.8	0.27	0.28	0.25	10.8	1.78	117.8	2.9
	-0.10	18.336	1.3	0.64	25.4	27.3	0.18	0.25		10.1	1.89	151.7	2.7
	-0.20	18.409	0.9	0.62	26.0	27.5	0.15	0.17	0.29	10.4	1.92	183.3	2.6
	-0.30	18.478	1.1	0.59	28.1	29.8	0.09	0.16	0.17	9.5	1.99	331.1	3.1
	-0.50	18.961	0.8	0.52	24.4	25.7	0.06	0.04	0.21	7.7	1.84	428.3	3.3
	-0.75	20.114	0.8	0.42	10.6	11.8	<0.03	0.07	0.11	4.6	1.61	>393.3	2.6
	-1.00	20.395	0.6	0.37	7.0	8.0	<0.03	0.03	0.06	3.5	1.31	>266.7	2.3
	-5.0	20.989	0.4	0.34	2.6	3.3	<0.03	<0.03	<0.03	2.1	1.32	>110.0	1.6
7M5	0.00	16.701	1.4	0.88	48.0	50.3	0.21	0.59	0.80	15.7	1.40	239.5	3.2
	-0.05	18.066	1.5	0.74	32.0	34.2	0.14	0.22	0.32	11.7	1.49	244.3	2.9
	-0.10	19.020	1.4	0.60	24.9	26.9	0.06	0.13	0.13	8.4	1.42	448.3	3.2
	-0.20	19.544	1.5	0.58	16.6	18.7	<0.03	0.08	0.14	6.6	1.33	>623.3	2.8
	-0.30	19.542	0.6	0.44	17.2	18.2	0.03	0.05	0.06	6.6	1.27	606.7	2.8
	-0.50	20.503	0.3	0.31	7.2	7.8	<0.03	0.05	0.03	3.4	1.09	>260.0	2.3
	-0.75	20.969	0.3	0.25	2.0	2.6	<0.03	<0.03	<0.03	1.7	1.10	>86.7	1.5
	-1.00	21.017	0.4	0.33	1.6	2.3	<0.03	<0.03	<0.03	1.5	1.07	>76.7	1.5
	-5.0	21.077	0.3	0.33	1.3	1.9	<0.03	<0.03	<0.03	1.4	1.42	>63.3	1.4
7M6	0.00	13.290	2.6	1.53	65.7	69.8	0.77	0.81	1.06	24.5	1.53	90.6	2.8
	-0.05	14.056	2.2	1.36	46.7	50.3	0.51	0.52	0.80	21.5	1.55	98.6	2.3
	-0.10	16.200	1.8	0.93	53.9	56.6	0.04	0.33	0.90	17.0	1.40	1415.0	3.3
	-0.20	16.901	1.3	0.78	42.0	44.1	0.26	0.30	0.28	14.3	1.62	169.6	3.1
	-0.30	18.103	0.7	0.61	33.4	34.7	0.11	0.16	0.17	11.2	1.47	315.5	3.1
	-0.50	20.542	<0.1	0.28	5.4	5.8	<0.03	<0.03	0.05	3.0	1.32	>193.3	1.9
	-0.75	20.782	<0.1	0.30	4.6	5.0	<0.03	<0.03	<0.03	2.2	1.40	>166.7	2.3
	-1.00	20.788	0.1	0.29	4.0	4.4	<0.03	<0.03	<0.03	2.3	1.42	>146.7	1.9
	-5.0	21.037	0.2	0.27	1.6	2.1	<0.03	<0.03	<0.03	1.9	1.24	>70.0	1.1

Tabla A.13. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
7M7	0.00	15.194	1.6	0.88	61.7	64.2	0.56	0.56	0.93	18.0	1.52	114.6	3.6
	-0.05	15.268	1.5	0.89	57.9	60.3	0.55	0.75	0.86	19.0	1.64	109.6	3.2
	-0.10	16.147	2.2	0.98	51.3	54.5	0.30	0.36	0.56	16.6	1.97	181.7	3.3
	-0.20	17.194	1.3	0.76	42.2	44.3	0.19	0.28	0.46	12.2	1.69	233.2	3.6
	-0.30	19.317	1.1	0.55	15.0	16.7	0.12	0.13	0.34	7.3	1.62	139.2	2.3
	-0.50	20.204	0.5	0.42	8.0	8.9	<0.03	0.03	0.10	4.3	1.68	>296.7	2.1
	-0.75	20.226	0.6	0.42	8.3	9.3	<0.03	<0.03	0.08	4.2	1.62	>310.0	2.2
	-1.00	20.531	0.3	0.34	6.7	7.3	<0.03	<0.03	0.04	3.6	1.44	>243.3	2.0
	-5.0	21.009	0.3	0.29	2.4	3.0	<0.03	<0.03	<0.03	1.7	1.05	>100.0	1.8
7M8	0.00	13.736	1.5	1.00	68.5	71.0	0.71	0.95	1.10	22.0	1.92	100.0	3.2
	-0.05	13.860	1.7	1.02	63.6	66.3	0.64	0.64	1.12	23.0	2.04	103.6	2.9
	-0.10	13.980	1.9	1.06	62.8	65.8	0.68	0.97	1.19	22.0	2.05	96.8	3.0
	-0.20	14.660	1.8	1.02	69.8	72.6	0.51	0.61	0.61	21.4	2.04	142.4	3.4
	-0.30	17.205	1.3	0.76	40.2	42.3	0.12	0.19	0.35	13.7	1.87	352.5	3.1
	-0.50	20.059	0.2	0.34	10.9	11.4	<0.03	<0.03	0.06	4.9	1.62	>380.0	2.3
	-0.75	20.226	0.1	0.31	8.6	9.0	<0.03	<0.03	0.07	4.3	1.69	>300.0	2.1
	-1.00	20.322	0.2	0.32	8.4	8.9	0.04	0.15	0.12	3.8	1.51	222.5	2.3
	-5.0	21.033	0.5	0.24	2.1	2.8	<0.03	<0.03	<0.03	1.7	1.13	>93.3	1.6
7M9	0.00	3.228	4.8	2.68	147.2	154.7	1.17	2.43		54.5	3.69	132.2	2.8
	-0.05	3.570	4.8	2.68	161.6	169.1	1.18	2.27		55.0	4.38	143.3	3.1
	-0.10	3.733	4.7	2.83	158.7	166.2	1.35	1.89	2.18	55.5	4.40	123.1	3.0
	-0.20	9.489	2.8	1.68	98.1	102.6	1.30	1.55		33.5	4.26	78.9	3.1
	-0.30	17.598	1.2	2.55	37.2	41.0	0.19	0.27	0.27	12.4	2.40	215.8	3.3
	-0.50	19.974	1.1	0.51	10.1	11.7	<0.03	<0.03	<0.03	4.9	2.13	>390.0	2.4
	-0.75	19.978	1.6	0.52	9.2	11.3	<0.03	<0.03	<0.03	4.4	1.98	>376.7	2.6
	-1.00	20.193	0.8	0.41	9.6	10.8	<0.03	0.03	0.06	4.0	2.08	>360.0	2.7
	-5.0	21.026	1.3	0.38	1.4	3.1	<0.03	<0.03	<0.03	1.8	0.90	>103.3	1.7
7M10	0.00	11.505	2.4	1.65	82.9	87.0	1.00	1.40	1.41	28.0	2.40	87.0	3.1
	-0.05	17.134	2.3	1.02	43.2	46.5	0.22	0.32	0.50	13.7	1.87	211.4	3.4
	-0.10	17.697	1.5	0.86	40.5	42.9	0.17	0.28	0.34	14.6	1.96	252.4	2.9
	-0.20	18.200	1.0	0.65	33.7	35.4	0.13	0.22	0.28	11.0	1.85	272.3	3.2
	-0.30	18.355	1.4	0.67	28.1	30.2	0.11	0.20	0.26	10.4	1.76	274.5	2.9
	-0.50	18.686	1.1	0.58	21.7	23.4	0.06	0.08	0.21	9.3	1.55	390.0	2.5
	-0.75	19.048	2.2	0.71	18.9	21.8	0.05	0.09	0.23	8.3	1.71	436.0	2.6
	-1.00	19.760	1.3	0.57	13.5	15.4	<0.03	<0.03	0.05	5.6	1.75	>513.3	2.8
	-5.0	20.859	2.0	0.48	1.8	4.3	<0.03	<0.03	<0.03	1.9	1.07	>143.3	2.3
7M11	0.00	3.241	4.4	3.05	166.1	173.6	1.25	2.14	2.38	55.5	6.30	138.9	3.1
	-0.05	3.378	4.3	2.80	160.2	167.3	0.47	1.32	1.92	56.5	6.35	356.0	3.0
	-0.10	3.383	4.2	2.98	126.6	133.8	1.45	1.99	2.09	56.0	6.57	92.3	2.4
	-0.20	3.416	4.2	2.90	152.1	159.2	1.53	1.90		55.0	6.40	104.1	2.9
	-0.30	10.775	2.0	1.48	99.5	103.0	1.04	1.45	1.47	29.5	3.78	99.0	3.5
	-0.50	20.503	0.4	0.32	7.5	8.2	<0.03	<0.03	0.08	3.1	1.43	>273.3	2.6
	-0.75	20.641	0.6	0.33	5.9	6.8	<0.03	<0.03	0.07	2.7	1.27	>226.7	2.5
	-1.00	20.700	1.6	0.46	4.8	6.9	<0.03	<0.03	<0.03	2.4	1.32	>230.0	2.9
	-5.0	20.952	0.7	0.29	1.9	2.9	<0.03	<0.03	<0.03	1.5	0.94	>96.7	1.9

Tabla A.14. Conductividad (mS/cm) del transecto previo. Muestreo 8.

Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)	Punto de muestreo	Coordenadas		Conductiv. (mS/cm)
	UTM x	UTM y			UTM x	UTM y	
8T1	320961.8	4513228.4	33.6	8T25	317026.2	4513509.7	6.4
8T2	321544.5	4513455.0	54.3	8T26	316698.1	4513906.7	5.4
8T3	321899.0	4513557.6	29.6	8T27	315723.7	4515486.1	21.0
8T4	323124.1	4513565.3	15.9	8T28	315574.1	4515693.5	34.1
8T5	323364.2	4513596.6	26.6	8T29	315504.6	4515732.2	57.9
8T6	324216.3	4513909.5	57.8	8T30	315976.7	4516035.2	19.9
8T7	324011.4	4514173.6	42.4	8T31	316088.0	4516550.9	32.9
8T8	323511.3	4514521.9	39.6	8T32	316224.7	4516954.8	23.7
8T9	323352.4	4514874.3	27.3	8T33	316500.7	4517299.7	49.0
8T10	323037.7	4515252.1	19.0	8T34	316638.7	4517759.2	21.7
8T11	322692.2	4515519.5	51.8	8T35	316874.7	4518197.7	17.5
8T12	322234.6	4515808.2	26.5	8T36	317305.8	4518557.3	20.0
8T13	321942.3	4515944.8	55.6	8T37	317619.7	4518734.7	19.3
8T14	321641.8	4516322.4	21.9	8T38	317968.5	4518615.1	28.1
8T15	320774.2	4516528.5	13.3	8T39	318002.5	4518281.0	31.9
8T16	320356.7	4516723.7	21.9	8T40	318128.6	4517685.4	26.5
8T17	320470.1	4516758.0	57.8	8T41	318081.3	4516908.9	34.3
8T18	320214.7	4516671.6	23.2	8T42	318167.0	4516388.4	42.8
8T19	320224.4	4515912.3	25.9	8T43	318234.6	4515701.7	39.9
8T20	320436.3	4514203.9	8.6	8T44	318498.7	4514991.7	30.9
8T21	320464.2	4513610.7	16.4	8T45	318772.0	4514651.7	18.9
8T22	319589.6	4512965.5	49.3	8T46	319138.7	4514105.9	20.6
8T23	319025.8	4512942.2	49.3	8T47	319321.7	4513527.4	9.4
8T24	318528.3	4512750.7	52.0	8T48	319474.2	4511116.9	14.6

Tabla A.15. Resultados analíticos de laboratorio. Muestreo 8.

Estac	Prof. (m)	Clorin (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl a (μg/L)	NID/PSR	NID/Si
8M1	0.00	0.416	7.4	3.25	180.0	190.7	0.61	1.54	1.91	71.0	6.10	312.6	2.7
	-0.05	0.382	7.7	3.05	180.7	191.5	0.89	1.63	1.88	76.0	6.03	215.2	2.5
	-0.10	0.417	8.1	2.98	183.4	194.5	0.81	1.47	2.36	70.0	5.86	240.1	2.8
	-0.20	0.406	8.1	2.88	185.6	196.6	0.94	1.51	2.41	73.0	5.80	209.1	2.7
	-0.30	0.430	8.0	2.93	114.8	125.7	0.55	1.42	1.70	70.0	5.98	228.5	1.8
	-0.50	0.424	8.3	2.80	204.5	215.6	0.47	1.11	2.17	70.0	5.98	458.7	3.1
	-0.75	0.461	8.4	3.08	135.5	147.0	0.75	1.29	2.08	72.0	5.92	196.0	2.0
	-1.00	0.855	8.5	2.73	182.4	193.6	0.37	1.29	2.09	71.0	5.55	523.2	2.7
8M2	0.00	11.155	3.4	1.43	88.4	93.2	0.60	0.90	1.24	34.0	2.21	155.3	2.7
	-0.05	11.102	3.6	1.38	97.0	102.0	0.56	0.92	1.12	32.5	2.30	182.1	3.1
	-0.10	11.774	3.4	1.39	78.3	83.1	0.52	0.79	1.15	32.5	2.34	159.8	2.6
	-0.20	12.106	3.4	1.30	85.0	89.7	0.51	0.92	1.16	30.0	2.17	175.9	3.0
	-0.30	15.857	2.1	0.76	59.9	62.8	0.29	0.41	0.58	19.5	1.99	216.6	3.2
	-0.50	20.044	0.5	0.25	13.2	14.0	<0.03	0.12	0.32	5.6	1.31	>466.7	2.5
	-0.75	20.683	0.3	0.20	6.9	7.4	<0.03	<0.03	0.11	3.7	1.28	>246.7	2.0
	-5.0	21.115	<0.1	0.05	1.7	1.9	<0.03	0.04	0.03	2.5	1.50	>63.3	0.8
8M3	0.00	12.397	3.3	1.33	99.7	104.3	0.45	0.68	1.06	23.5	2.00	231.8	4.4
	-0.05	16.340	1.8	0.71	55.2	57.7	0.25	0.41	0.44	20.0	1.59	230.8	2.9
	-0.10	17.556	1.7	0.59	42.0	44.3	0.16	0.28	0.32	13.5	1.43	276.9	3.3

Tabla A.15. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
8M3	-0.20	18.954	1.6	0.46	29.2	31.3	0.07	0.14	0.25	9.3	1.24	447.1	3.4
	-0.30	19.320	1.1	0.40	19.3	20.8	0.03	<0.03	0.07	7.6	1.30	693.3	2.7
	-0.50	20.571	0.5	0.21	7.9	8.6	<0.03	0.03	<0.03	3.7	1.08	>286.7	2.3
	-0.75	20.859	0.3	0.17	4.8	5.3	<0.03	0.04	<0.03	2.7	1.08	>176.7	2.0
	-1.00	20.654	0.2	0.14	3.9	4.2	<0.03	<0.03	<0.03	2.9	1.18	>140.0	1.4
	-5.0	21.068	<0.1	0.09	2.6	2.8	<0.03	0.05	0.05	2.2	1.36	>93.3	1.3
8M4	0.00	16.744	2.0	0.66	48.5	51.2	0.39	0.48		16.3	1.25	131.3	3.1
	-0.05	18.084	1.2	0.47	37.5	39.2	0.21	0.24	0.33	9.7	1.12	186.7	4.0
	-0.10	18.161	2.1	0.62	35.9	38.6	0.10	0.31	0.37	10.0	1.04	386.0	3.9
	-0.20	18.103	1.6	0.55	33.0	35.2	<0.03	0.11	0.22	10.4	1.15	>1173.3	3.4
	-0.30	18.146	1.0	0.46	35.3	36.8	0.11	0.20	0.34	6.6	1.19	334.5	5.6
	-0.50	19.679	0.6	0.32	15.8	16.7	<0.03	<0.03	0.08	7.1	0.97	>556.7	2.4
	-0.75	20.386	0.3	0.21	9.2	9.7	<0.03	<0.03	<0.03	4.8	1.06	>323.3	2.0
	-1.00	20.971	<0.1	0.10	3.8	4.0	<0.03	<0.03	<0.03	2.2	1.41	>133.3	1.8
	-5.0	21.062	<0.1	0.08	2.7	2.9	<0.03	0.04	0.06	1.9	1.18	>96.7	1.5
8M5	0.00	16.304	1.7	0.68	57.3	59.7	0.26	0.39	0.47	15.8	1.55	229.6	3.8
	-0.05	16.786	1.5	0.62	51.9	54.0	0.24	0.33	0.45	12.0	1.33	225.0	4.5
	-0.10	17.371	1.4	0.67	40.6	42.7	0.16	0.24	0.37	13.2	1.46	266.9	3.2
	-0.20	17.735	1.4	0.59	36.9	38.9	0.13	0.24	0.37	11.5	1.26	299.2	3.4
	-0.30	17.564	1.2	0.58	33.6	35.4	0.14	0.23	0.32	13.3	1.24	252.9	2.7
	-0.50	19.660	1.0	0.33	15.7	17.0	0.03	0.14	0.12	8.2	1.16	566.7	2.1
	-0.75	20.573	0.1	0.11	6.8	7.0	<0.03	0.03	0.08	4.1	1.12	>233.3	1.7
	-1.00	20.960	0.3	0.13	3.6	4.0	<0.03	<0.03	0.10	2.5	1.23	>133.3	1.6
	-5.0	21.113	0.2	0.10	2.1	2.4	<0.03	<0.03	<0.03	3.1	1.19	>80.0	0.8
8M6	0.00	11.831	3.0	1.42	103.7	108.1	0.53	0.78	0.99	25.5	1.83	204.0	4.2
	-0.05	15.085	1.9	0.89	67.1	69.9	0.28	0.41	0.62	21.0	1.57	249.6	3.3
	-0.10	16.631	1.5	0.60	49.4	51.5	0.26	0.33	0.48	14.9	1.65	198.1	3.5
	-0.20	17.940	1.0	0.48	35.8	37.3	0.19	0.24	0.30	11.6	1.41	196.3	3.2
	-0.30	19.311	0.5	0.27	17.5	18.3	0.03	0.06	0.22	8.4	1.47	610.0	2.2
	-0.50	20.410	0.5	0.18	9.4	10.1	<0.03	<0.03	0.05	4.0	1.12	>336.7	2.5
	-0.75	20.768	0.4	0.16	4.5	5.1	<0.03	<0.03	<0.03	2.9	1.10	>170.0	1.8
	-1.00	21.046	0.2	0.06	2.0	2.3	<0.03	<0.03	<0.03	2.1	1.06	>76.7	1.1
	-5.0	21.068	0.5	0.09	1.8	2.4	<0.03	<0.03	<0.03	1.8	1.44	>80.0	1.3
8M7	0.00	20.059	0.3	0.19	10.5	11.0	<0.03	0.03	0.12	5.7	1.75	>366.7	1.9
	-0.05	19.880	1.0	0.24	14.5	15.7	<0.03	<0.03	<0.03	4.4	1.77	>523.3	3.6
	-0.10	20.105	0.1	0.17	12.4	12.7	<0.03	0.06	0.04	5.0	1.67	>423.3	2.5
	-0.20	20.298	0.1	0.15	10.3	10.6	<0.03	0.03	0.17	3.7	1.57	>353.3	2.9
	-0.30	20.206	0.3	0.17	10.6	11.1	<0.03	0.06	0.14	4.6	1.70	>370.0	2.4
	-0.50	20.806	0.2	0.09	5.2	5.5	<0.03	<0.03	0.10	2.0	1.32	>183.3	2.8
	-0.75	20.918	0.1	0.05	3.5	3.7	<0.03	0.04	<0.03	1.9	1.45	>123.3	1.9
	-1.00	20.958	<0.1	0.03	3.1	3.2	<0.03	0.03	0.05	1.8	1.14	>106.7	1.8
	-5.0	21.057	0.1	<0.01	2.0	2.1	<0.03		<0.03	1.1	1.38	>70.0	1.9
8M8	0.00	2.963	8.4	2.48	173.8	184.7	0.51	1.62	1.92	65.5	3.11	362.2	2.8
	-0.05	3.662	8.4	2.35	159.6	170.4	0.45	1.61	1.71	63.5	3.13	378.7	2.7
	-0.10	8.113	4.5	1.93	125.3	131.7	0.68	1.33	2.04	36.5	2.63	193.7	3.6
	-0.20	17.993	0.8	0.35	36.3	37.5	0.12	0.19	0.17	12.7	1.70	312.5	3.0

Tabla A.15. Continuación.

Estac	Prof. (m)	Clorin. (‰)	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NID (μM)	PSR (μM)	PDT (μM)	PT (μM)	Ac.orto. (μM)	Chl <i>a</i> (μg/L)	NID/ PSR	NID/ Si
8M8	-0.30	19.511	0.3	0.14	17.2	17.6	<0.03	<0.03	0.05	6.1	1.44	>586.7	2.9
	-0.50	20.331	0.5	0.06	8.1	8.7	<0.03	<0.03	<0.03	3.1	0.89	>290.0	2.8
	-0.75	20.696	0.5	<0.01	3.7	4.2	<0.03		<0.03	2.0	0.72	>140.0	2.1
	-1.00	20.738	1.2	0.09	3.0	4.3	<0.03	<0.03	<0.03	1.6	0.58	>143.3	2.7
	-5.0	20.940	<0.1	<0.01	1.9	2.0	<0.03	<0.03	0.05	0.8	0.71	>66.7	2.5
8M9	0.00	3.036	10.4	2.50	181.3	194.2	0.17	1.57	1.74	64.5	1.66	1142.4	3.0
	-0.05	3.100	10.3	2.55	170.7	183.6	1.00	1.65	1.80	66.0	1.94	183.6	2.8
	-0.10	3.167	10.3	2.40	155.3	168.0	0.63	1.05	1.29	63.5	1.54	266.7	2.6
	-0.20	17.553	1.8	0.54	36.4	38.7	<0.03	0.07	0.37	14.2	2.30	>1290.0	2.7
	-0.30	18.994	0.7	0.22	18.1	19.0	<0.03	0.05	0.36	7.9	1.38	>633.3	2.4
	-0.50	20.954	0.4	0.02	2.4	2.8	<0.03	<0.03	0.04	1.2	0.68	>93.3	2.3
	-0.75	21.084	0.2	<0.01	1.6	1.8	<0.03	<0.03	0.37	0.8	0.52	>60.0	2.3
	-1.00	21.073	0.2	<0.01	1.2	1.4	<0.03	<0.03	<0.03	0.5	0.59	>46.7	2.8
	-5.0	21.099	0.1	<0.01	1.2	1.3	<0.03	<0.03	<0.03	0.4	0.69	>43.3	3.3
8M10	0.00	17.506	1.4	0.56	40.3	42.3	0.16	0.21		13.9	1.20	264.4	3.0
	-0.05	17.472	1.3	0.54	38.2	40.0	0.14	0.16	0.31	14.6	1.17	285.7	2.7
	-0.10	17.643	1.5	0.53	38.0	40.0	0.14	0.19	0.29	14.1	1.13	285.7	2.8
	-0.20	17.626	1.4	0.55	33.9	35.9	0.17	0.17	0.23	13.5	1.29	211.2	2.7
	-0.30	17.710	1.2	0.47	33.7	35.4	0.14	0.20	0.37	13.3	1.08	252.9	2.7
	-0.50	19.559	0.6	0.24	17.7	18.5	0.06	0.05	0.14	7.3	1.02	308.3	2.5
	-0.75	20.793	0.1	0.15	4.4	4.7	<0.03	0.05	0.13	3.7	1.02	>156.7	1.3
	-1.00	21.028	<0.1	0.14	2.1	2.3	<0.03	0.04	0.04	2.5	1.12	>76.7	0.9
	-5.0	21.113	<0.1	0.11	1.3	1.5	<0.03	<0.03	0.23	2.0	1.24	>50.0	0.8
8M11	0.00	16.217	1.7	0.69	49.2	51.6	0.29	0.33	0.41	17.3	2.04	177.9	3.0
	-0.05	16.620	1.7	0.67	50.5	52.9	0.20	0.25	0.27	18.5	2.00	264.5	2.9
	-0.10	17.228	1.1	0.51	43.9	45.5	0.18			16.3	1.92	252.8	2.8
	-0.20	17.759	1.2	0.45	35.3	37.0	0.12	0.17	0.18	13.9	1.71	308.3	2.7
	-0.30	17.961	0.9	0.43	37.6	38.9	0.13	0.19	0.24	12.2	1.76	299.2	3.2
	-0.50	20.542	0.6	0.26	11.0	11.9	<0.03	0.08	0.11	6.0	1.30	>396.7	2.0
	-0.75	21.068	0.3	0.11	1.6	2.0	<0.03	<0.03	<0.03	3.2	1.35	>66.7	0.6
	-1.00	21.108	<0.1	0.02	1.2	1.3	<0.03	0.03	0.08	1.8	1.36	>43.3	0.7
	-5.0	21.121	<0.1	0.03	1.4	1.5	0.17		0.05	2.1	1.41	8.8	0.7